



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

ANALISIS PENINGKATAN TAHANAN GESER TANAH LUNAK AKIBAT ADANYA CERUCUK BERDASARKAN PERMODELAN DI LABORATORIUM

ISTI QOMARIYAH
NRP 3113 100 040

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Indrasurya B Mochtar, M.Sc, Ph.D.
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**ANALISIS PENINGKATAN TAHANAN GESER
TANAH LUNAK AKIBAT ADANYA CERUCUK
BERDASARKAN PERMODELAN DI LABORATORIUM**

ISTI QOMARIYAH
NRP 3113 100 040

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Indrasurya B Mochtar, M.Sc, Ph.D.
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT (RC14-1501)

SHEAR RESISTANCE INCREMENT ANALYSIS IN SOFT SOIL DUE TO PILES BASED ON LABORATORY MODELING

ISTI QOMARIYAH
NRP 3113 100 040

Supervisor
Prof. Ir. Indrasurya B Mochtar, M.Sc, Ph.D.
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Civil Engineering & Planning Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

**ANALISIS PENINGKATAN TAHANAN GESER
TANAH LUNAK AKIBAT ADANYA CERUCUK
BERDASARKAN PERMODELAN DI LABORATORIUM**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Geoteknik
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ISTI QOMARIYAH
NRP. 3113 100 040

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Ir. I.B Mohtadi, M.Sc, Ph.D. (Pembimbing I)
2. Dr. Yudhi Lasmah, ST., MT. (Pembimbing II)



**SURABAYA
JANUARI, 2017**

ANALISIS PENINGKATAN TAHANAN GESER TANAH LUNAK AKIBAT ADANYA CERUCUK BERDASARKAN PERMODELAN DI LABORATORIUM

Nama Mahasiswa : Isti Qomariyah
NRP : 3113 100 040
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I.B Mochtar, M.Sc, Ph.D
Dr. Yudhi Lastiasih, ST,MT

Abstrak

Cerucuk merupakan suatu metode perbaikan tanah yang sering dijumpai guna meningkatkan daya dukung pada tanah yang lunak maupun sebagai penguat lereng timbunan. Cerucuk bisa berupa tiang kayu berukuran panjang 4-6 meter dengan diameter 10 cm. Bisa juga tiang beton untuk tanah lunak yang lebih dalam. Tiang pracetak berbentuk persegi atau segitiga dengan sisi berukuran 10-40 cm, akan memberikan kapasitas daya dukung yang lebih besar (Departemen PU, 2005). Cerucuk telah berhasil digunakan di berbagai situasi penanganan kelongsoran maupun peningkatan stabilitas talud. Banyak metode yang telah dikembangkan dalam analisis pile slopes atau cerucuk (Ito et al.,1981; Poulos, 1995; chen and Poulos, 1997; Zeng and Liang, 2002; Won et al., 2005). Teori cerucuk terbaru adalah Teori Cerucuk 2015 yang diperkenalkan oleh Rusdiansyah (2015). Teori ini dikembangkan dari teori cerucuk Mochtar (2000) yang mengasumsikan kelompok cerucuk dianggap sebagai kelompok tiang pancang “rigid cap” di muka tanah yang menerima gaya horizontal. Gaya horizontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi disepanjang bidang gelincir. Asumsi tersebut didasarkan pada teori tiang pancang penahan horizontal oleh NAVFAC DM-7,1971.

Teori cerucuk 2015 diperoleh melalui permodelan cerucuk berskala mini di laboratorium. Permodelan tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa tahanan geser tanah pada stabilitas lereng yang diperkuat dengan Cerucuk tidak hanya dipengaruhi oleh parameter momen maksimum (M_{maks}), koefisien momen (F_m), dan faktor kekakuan Cerucuk (T), oleh (Mochtar, 2000). Tapi juga dipengaruhi oleh : a) panjang tancap Cerucuk, b) jarak atau spasi antar Cerucuk, c)

jumlah Cerucuk dan faktor efisiensi, d) diameter Cerucuk, e) posisi tancap Cerucuk, f) pola pemasangan Cerucuk, dan g) jenis tanah.

Namun Teori Cerucuk 2015 masih terbatas oleh persyaratan benda uji Spasi 3D (3 kali diameter) sampai 8D (8 kali diameter), Rasio tancap $L/D = 5$ s.d. $L/D = 20$, Rasio D/T yang digunakan 0.099 s.d. 0.113, dan Diameter Cerucuk 3 mm s.d. 6 mm. Oleh sebab itu, diusulkan penelitian lanjut mengenai “Analisis Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak akibat adanya Cerucuk berdasarkan Permodelan di Laboratorium” untuk melengkapi persyaratan-persyaratan pada Teori Cerucuk 2015.

Hasil perhitungan perumusan menghasilkan persamaan tambahan pada Rumus Cerucuk 2015. Pada variasi rasio tancap cerucuk diperoleh persamaan $Y_t = 0.001(X_t)^2 + 0.051(X_t) - 0.180$. Pada variasi spasi pemasangan didapat persamaan untuk rasio spasi terhadap diameter (S/D) lebih dari 5, $Y_s = -0.027(X_s) + 1.138$. pada variasi jumlah cerucuk didapat persamaan baru yakni $Y_n = 0.0055(X_n)^2 - 0.0892(X_n) + 1.1001$. Sedangkan untuk variasi diameter diperoleh persamaan $Y_d = 1.337(X_d) + 0.869$ untuk rasio diameter terhadap kekakuan (D/T) kurang dari 0.098. Dengan rata-rata koefisien pengali adalah 2.095.

Kata Kunci : Cerucuk, Direct Shear, Permodelan, Tahanan Geser.

SHEAR RESISTANCE INCREMENT ANALYSIS IN SOFT SOIL DUE TO PILES BASED ON LABORATORY MODELING

Name : Isti Qomariyah
NRP : 3113 100 040
Department : Teknik Sipil FTSP-ITS
Promotor : Prof. Ir. I.B Mochtar, M.Sc, Ph.D
Dr. Yudhi Lastiasih, ST,MT

Abstrac

Cerucuk is a soil improvement method to increase the bearing capacity on soft soil as well as a reinforcement of embankment slopes. Cerucuk could be a long wooden pile in 4-6 meters length & diameter 10 cm. It could also be a concrete pile for soft soil deeper. It shapes square or a triangle for precast with sides measuring 10-40 cm, will provide bearing capacity greater (Department of Public Works, 2005). Cerucuk has been successfully used in various situations handling landslide and increased stability of embankments. Many methods have been developed in analysis of pile slopes (Ito et al., 1981; Poulos, 1995; Chen and Poulos, 1997; Zeng and Liang, 2002; Won et al., 2005). The latest theory is Theory of Cerucuk 2015 introduced by Rusdiansyah (2015). This theory was developed from Theory of Cerucuk by Mochtar (2000), which assumes the group of cerucuk considered as the pile "rigid cap" on the face of the land which receive the horizontal force. The horizontal force is a shear stress which occurs along the sliding plane. That assumption is based on the theory of lateral load pile by NAVFAC DM-7.1971.

Theory of Cerucuk 2015 obtained through modeling in mini scale in the laboratory. Modeling resulted conclusion that the shear resistance on the stability of slopes reinforced with cerucuk not only influenced by the parameters of maximum moment (M_{maks}), the moment coefficient (F_m), and the stickiness factor (T), by (Mochtar, 2000). But it is also influenced by: a) depth of insertion, b) spacing, c) amount of pile and the efficiency factor, d) diameter, e) positioning step, f) pattern of instaling, and g) kind of soil.

However Theory of Cerucuk 2015 is still limited by the requirements of the test object in 3D Space (3 times the diameter) until 8D (8 times the diameter), long of insertion $L/D = 5$ up to $L/D = 20$, ratio of D/T used 0.099 up to 0.113, and diameter 3 mm up to 6 mm. Therefore, the proposed study about "Shear Resistance Increment Analysis In Soft Soil Due To Piles Based On Laboratory Modeling" to complete the requirements of Rumus Cerucuk 2015

The result is additional equations in Theory of cerucuk 2015. In depth of insertion ratio equation $Y_t = 0.001 (X_t)^2 + 0.051 (X_t) - 0.180$. On spacing variation obtained equation for a space to diameter ratio (S/D) of more than 5, $Y_s = -0.0027 (X_s) + 1.138$, the variation of the amount of pile obtained a new equation that $Y_n = 0.0055 (X_n)^2 - 0.0892 (X_n) + 1.1001$, as for the diameter variation equation $Y_d = 1.337 (X_d) + 0.869$ to diameter ratio of the stiffness (D/T) of less than 0.098. With an average coefficient is 2,095.

Keyword : Cerucuk, Direct Shear, Modeling, Shear Resistance.

Kata Pengantar

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas berkah, karunia, rahmat dan hidayah-Nya Laporan Tugas Akhir ini telah terselesaikan dengan baik. Laporan Tugas Akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat kelulusan.

Dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir ini, penulis tidak berjalan sendirian. Banyak pihak yang telah membantu proses pengerjaan Proposal Tugas Akhir ini hingga selesai. Maka dari itu dengan rasa hormat penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah S.W.T, yang selalu memberikan berkah, karunia dan rahmad-Nya dalam proses pengerjaan Laporan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Pak Jumari, Ibu Siti Rohmah, Adik Aini Nur Hamidah, Adik Aisyah Salsa Hafizha, dan Mas Andik Setiawan yang selalu mendoakan saya dan telah memberikan dukungan sepenuh hati serta semangat sampai selesainya Laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Ir. Indrasurya B Mochtar, M.Sc, Ph.D, Ibu Dr. Yudhi Lastiasih, ST, MT, Bapak Dr. Rusdiansyah ST, MT, dan segenap Dosen Geoteknik Teknik Sipil ITS yang telah memberikan bimbingan hingga Laporan Tugas Akhir ini selesai.
4. Teman-teman terbaik dan pihak lain yang telah membantu saya.

Penulis menyadari bahwa dalam Laporan Tugas Akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran dari pembaca demi kebaikan untuk kedepannya. Semoga Laporan Tugas Akhir ini bisa memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun bagi para pembaca. Amiin.

Surabaya, 17 Januari 2017
Hormat Saya,

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Teori Kelongoran	5
2.2 Tahanan Geser Tanah	8
2.3 Uji Direct Shear	10
2.4 Karakteristik Tanah Lunak	12
2.5 Konstruksi Cerucuk	14
2.6 Regresi	18
2.7 Perkembangan Teori Cerucuk.....	22
2.8 Metode Luas Bidang Momen.....	27
BAB III METODOLOGI	
3.1 Bagan Alir Rancang Penelitian	31
3.2 Studi Literatur	32
3.3 Pembutan Sampel Benda Uji	32
3.4 Pengujian Karakteristik Benda Uji	33
3.5 Pengujian Tahanan Geser Tanah dengan berbagai Variasi Cerucuk.....	37
3.6 Analisis Hasil	41
BAB IV HASIL PENGUJIAN	
4.1 Pembuatan Benda Uji.....	43
4.2 Pengujian Karakteristik Benda Uji	45

4.3 Pengujian Tahanan Geser Tanah	49
4.4 Perhitungan Rasio Plab/Panalitis	51
BAB V ANALISA DATA	
5.1 Pengaruh Jarak Pemasangan Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah.....	59
5.2 Pengaruh Diameter Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah	64
5.3 Pengaruh Panjang Tancap Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah	67
5.4 Pengaruh Jumlah Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah	71
5.5 Pengaruh Pola Pemasangan Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah.....	75
5.6 Usulan Model Persamaan Tambahan pada Rumus Cerucuk 2015 ..	77
5.7 Penerapan Perumusan pada Studi Kasus	80
BAB VI PENUTUP	
6.1 Kesimpulan.....	87
6.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA.....	89
LAMPIRAN	91
BIODATA PENULIS	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Mekanisme Kerja Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah (Noor Endah Mochtar,2012)	2
Gambar 1. 2 Asumsi Gaya yang Diterima Cerucuk (Mochtar,2000)	2
Gambar 2. 1 Diagram Skematik Kelongoran (Das, 2010)	7
Gambar 2. 2 Rotational Slide	8
Gambar 2. 3 Translation Slide	8
Gambar 2. 4 Surface Slide	9
Gambar 2. 5 Deep Slide	9
Gambar 2. 6 Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (Das, 2010)	10
Gambar 2. 7 Lingkaran Mohr (Das, 2010).....	12
Gambar 2. 8 Alat uji geser (Lab. Mek Tanah Universitas Pendidikan Indonesia)	13
Gambar 2. 9 Alat uji geser modifikasi (Rusdiansyah, 2015)	14
Gambar 2. 10 Skema peningkatan tahanan geser tanah akibat cerucuk (Noor Endah Mochtar,2012).....	17
Gambar 2. 11 Asumsi gaya yang diterima cerucuk (Mochtar,2000).....	18
Gambar 2. 12 grafik hubungan antara f dengan q_u (NAVFAC DM-7,1971).....	19
Gambar 2. 13 grafik untuk menentukan harga F_m pada kedalaman Z (NAVFAC DM-7, 1971)	20
Gambar 2. 14 Jenis regresi	21
Gambar 2. 15 Error e_i dari titik ke garis regresi $y = a+bx$	22
Gambar 2. 16 Deformasi plastis pada tanah disekitar tiang (Ito dan Matsui, 1975).....	25
Gambar 2. 17 Konstruksi Balok Sederhana dan Garis Elastik	30
Gambar 3. 1 Bagan Alir Rancang Penelitian	33
Gambar 3. 2 Ilustrasi tes bending cerucuk	36
Gambar 3. 3 Direct Shear (Rusdiansyah, 2015).....	37
Gambar 3. 4 Shear Box (Rusdiansyah, 2015)	38
Gambar 3. 5 Zona Pengaruh reaksi tiang akibat gaya horizontal (Reese et al, 2001).....	39
Gambar 3. 6 Bagan Alir variasi spasi.....	40

Gambar 3. 7 Pola Pemasangan Terhadap Variasi Spasi	40
Gambar 3. 8 Bagan Alir variasi diameter	41
Gambar 3. 9 Bagan Alir variasi rasio tancap.	41
Gambar 3. 10 Rasio Tancap (Rusdiansyah,2015).....	42
Gambar 3. 11 Ilustrasi cerucuk dalam lereng dilapangan dengan sudut geser kotak 0^0 (Rusdiansyah,2015)	42
Gambar 3. 12 Bagan Alir Variasi Pola Pasang	43
Gambar 4. 1 Proses Pembuatan Sampel Cerucuk	45
Gambar 4. 2 Elevasi muka air tanah	46
Gambar 4. 3 Pengambilan sampel tanah	46
Gambar 4. 4 Alat Uji Lentur	47
Gambar 4. 5 Grafik Hasil uji lentur specimen 1-1	48
Gambar 4. 6 Pemindahan sampel tanah dari kotak sampel ke kotak geser	51
Gambar 4. 7 Penancapan Cerucuk pada sampel tanah	51
Gambar 4. 8 Sampel tanah yang telah dipasang cerucuk	51
Gambar 4. 9 Penggeseran sampel dengan Direct Shear	51
Gambar 5. 1 Rasio Plab/Panalitis gabungan untuk variasi spasi cerucuk	62
Gambar 5. 2 Regresi linier Plab 1 cerucuk pada variasi jarak	64
Gambar 5. 3 Rasio Plab($S/D \neq 5$)/Plab($S/D = 5$).....	63
Gambar 5. 4 Perumusan persamaan variasi jarak pemasangan.....	65
Gambar 5. 5 Rasio Plab/Panalitis untuk variasi diameter	66
Gambar 5. 6 Regresi Linier Plab 1 cerucuk untuk diameter 3.5 mm	67
Gambar 5. 7 Rasio Plab($D \neq 3$)/Plab($D = 3$)	68
Gambar 5. 8 Perumusan persamaan variasi diameter cerucuk	68
Gambar 5. 9 Rasio Plab/Panalitis untuk variasi Rasio panjang tancap ..	69
Gambar 5. 10 Regresi untuk menentukan Plab $L/D = 15$	70
Gambar 5. 11 Rasio Plab($L/D \neq 15$)/Plab ($L/D = 15$)	71
Gambar 5. 12 Perumusan persamaan variasi rasio panjang tancap cerucuk	72
Gambar 5. 13 Rasio Plab/Panalitis untuk variasi jumlah cerucuk	73
Gambar 5. 14 Regresi linier untuk menentukan Plab jumlah 1	74
Gambar 5. 15 Rasio Plab $n \neq 1$ / Plab $n = 1$	75
Gambar 5. 16 Perumusan persamaan variasi jumlah cerucuk.....	75
Gambar 5. 17 Pola pemasangan terhadap arah gaya geser	76

Gambar 5. 18 Grafik tegangan regangan pola pemasangan 2x3 3x2	77
Gambar 5. 19 Bagan alir tahapan perhitungan	82
Gambar 5. 20 Potongan melintang Kav. 131	83
Gambar 5. 21 Bidang kelongsoran pada Kav.131	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Korelasi N-SPT dan Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung).....	15
Tabel 3. 1 Rekap Faktor koreksi yang dihasilkan oleh setiap benda uji	44
Tabel 4. 1 Nilai E rata-rata.....	48
Tabel 4. 2 Momen maksimum rata-rata.....	49
Tabel 4. 3 Sifat fisik dan mekanis tanah kondisi undisturbed.....	50
Tabel 4. 4 P_{max} dan τ yang terjadi.....	52
Tabel 4. 5 P_{max} dan τ yang terjadi pada sampel variasi tanah-cerucuk	53
Tabel 4. 6 ΔP 1 cerucuk.....	53
Tabel 4. 7 Perhitungan Panalitis dan rasionya	59
Tabel 5. 1 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Spasi	62
Tabel 5. 2 Rasio Plab $S/D \neq 5$ /Plab $S/D=5$	63
Tabel 5. 3 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Diameter	66
Tabel 5. 4 Rasio Plab $D \neq 3.5mm$ /Plab $=3mm$	67
Tabel 5. 5 Plab/Panalitis untuk variasi Panjang tancap (L/D)	69
Tabel 5. 6 Plab $L/D \neq 15$ / Plab $L/D =15$	71
Tabel 5. 7 Plab/Panalitis variasi jumlah cerucuk	73
Tabel 5. 8 Plab $\neq n1$ /Plab $n=1$	74
Tabel 5. 9 Rasio Plab/Panalitis	77
Tabel 5. 10 Rekap koefisien pengali untuk setiap variasi perlakuan	78
Tabel 5. 11 usulan perumusan untuk setiap perlakuan variasi	79
Tabel 5. 12 Syarat batas.....	80
Tabel 5. 13 Rekapitulasi jumlah cerucuk dari berbagai metode perhitungan	84

BAB I

PENDAHULUAN

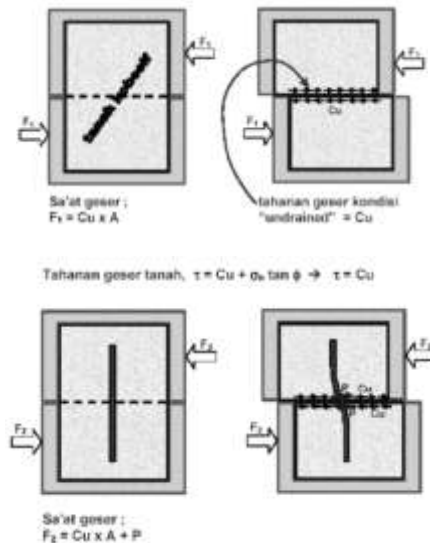
1.1 Latar Belakang

Cerucuk merupakan suatu metode perbaikan tanah yang sering dijumpai guna meningkatkan daya dukung pada tanah yang lunak maupun sebagai penguat lereng timbunan. Cerucuk bisa berupa tiang kayu berukuran panjang 4-6 meter dengan diameter 10 cm. Bisa juga tiang beton untuk tanah lunak yang lebih dalam, dan bila kapasitas daya dukung beban yang lebih besar diperlukan, penggunaan dari tiang beton pracetak lebih cocok. Tiang pracetak berbentuk persegi atau segitiga dengan sisi berukuran 10-40 cm, akan memberikan kapasitas daya dukung yang lebih besar (Departemen PU, 2005).

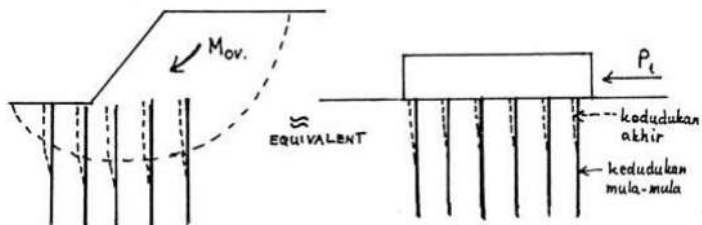
Penggunaan cerucuk dimaksudkan untuk menaikkan tahanan geser tanah. Mekanisme peningkatan tahanan geser tanah diilustrasikan oleh Gambar 1.1. Gambar tersebut menjelaskan bahwa tahanan geser pada tanah lunak (*cohesive soil*) hanya bergantung pada C_u atau lekatan tanah saja. Akibat pemasangan cerucuk pada tanah tersebut, tahanan geser pada tanah tidak hanya dipikul oleh C_u tapi juga oleh P atau kekuatan yang disumbang oleh cerucuk sehingga tahanan geser tanah meningkat. Bila tahanan geser meningkat, maka daya dukung tanah juga ikut meningkat.

Cerucuk telah berhasil digunakan di berbagai situasi penanganan kelongsoran maupun peningkatan stabilitas talud, dan banyak metode yang telah dikembangkan dalam analisis *pile slopes* atau cerucuk (Ito et al., 1981; Poulos, 1995; chen and Poulos, 1997; Zeng and Liang, 2002; Won et al., 2005). Teori cerucuk terbaru adalah Teori Cerucuk 2015 yang diperkenalkan oleh Rusdiansyah (2015). Teori ini dikembangkan dari teori cerucuk Mochtar (2000) yang mengasumsikan kelompok cerucuk

dianggap sebagai kelompok tiang pancang “*rigid cap*” di muka tanah yang menerima gaya horizontal. Gaya horizontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi disepanjang bidang gelincir seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.2. Asumsi tersebut didasarkan pada teori tiang pancang penahan horizontal oleh NAVFAC DM-7,1971.



Gambar 1. 1 Mekanisme Kerja Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah (Noor Endah Mochtar,2012)



Gambar 1. 2 Asumsi Gaya yang Diterima Cerucuk (Mochtar,2000)

Teori cerucuk 2015 diperoleh melalui permodelan cerucuk berskala mini di laboratorium. Permodelan tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa tahanan geser tanah pada stabilitas lereng yang diperkuat dengan Cerucuk tidak hanya dipengaruhi oleh parameter momen maksimum (M_{maks}), koefisien momen (F_m), dan faktor kekakuan Cerucuk (T), oleh (Mochtar, 2000). Tapi juga dipengaruhi oleh : a) panjang tancap Cerucuk, b) jarak atau spasi antar Cerucuk, c) jumlah Cerucuk dan faktor efisiensi, d) diameter Cerucuk, e) posisi tancap Cerucuk, f) pola pemasangan Cerucuk, dan g) jenis tanah.

Namun Teori Cerucuk 2015 masih terbatas oleh persyaratan benda uji sebagai berikut:

- Spasi 3D (3 kali diameter) sampai 8D (8 kali diameter)
- Rasio tancap $L/D = 5$ s.d. $L/D = 20$.
- Rasio D/T yang digunakan 0.099 s.d. 0.113.
- Diameter Cerucuk 3 mm s.d. 6 mm.

Oleh sebab itu, diusulkan penelitian lanjut mengenai “Analisis Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak akibat adanya Cerucuk berdasarkan Permodelan di Laboratorium” untuk melengkapi persyaratan-persyaratan pada Teori Cerucuk 2015.

1.2 Rumusan Masalah

Dari pemaparan latar belakang diatas, beberapa permasalahan yang perlu dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

- Bagaimana kekuatan geser tanah maximum tanpa adanya cerucuk?
- Bagaimana pengaruh pemasangan Cerucuk spasi $> 8D$ terhadap kuat geser tanah?
- Bagaimana pengaruh pemasangan Cerucuk rasio tancap $L/D > 20$ terhadap kuat geser tanah?

- Bagaimana pengaruh pemasangan Cerucuk diameter 2 mm dan 2,5 mm terhadap kuat geser tanah?
- Bagaimana pengaruh pola pemasangan Cerucuk terhadap kuat geser tanah?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Jenis tanah yang digunakan dalam penelitian adalah tanah lunak atau tanah kohesif sedangkan jenis tanah kaku dan kepasiran (nonkohesif) tidak digunakan.
- Dasar perumusan Cerucuk dalam penelitian ini mengacu pada NAVFAC DM-7 teori tiang pancang penahan horizontal.
- Kekuatan geser tanah kohesif ditentukan dengan alat uji geser langsung (*direct shear*) yang telah dimodifikasi.

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk melengkapi persyaratan perumusan Teori Cerucuk 2015 dengan menambahkan beberapa variabel sebagai berikut:

- Pemasangan cerucuk dengan spasi $>8D$
- Pemasangan cerucuk dengan rasio tancap $L/D > 20$
- Pemasangan cerucuk dengan diameter 2 mm dan 2.5 mm
- Pola pemasangan yang bervariasi

1.5 Manfaat

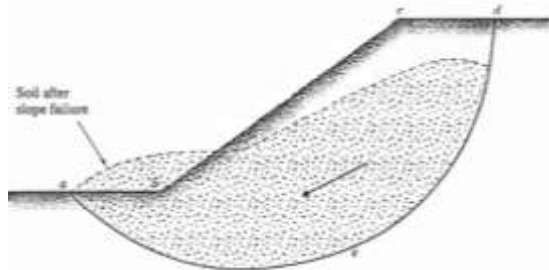
Manfaat dari penulisan laporan tugas akhir ini adalah untuk merumuskan perhitungan Cerucuk yang lebih mendekati kejadian sebenarnya di lapangan sesuai dengan keberagaman kondisi di lapangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Kelongoran

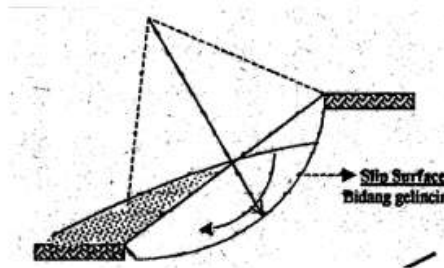
Suatu permukaan tanah yang miring dengan sudut tertentu terhadap bidang horizontal dan tidak dilindungi, disebut talud tak tertahan (unrestrained slope). Talud ini dapat terjadi secara alamiah atau buatan. Bila permukaan tanah tidak datar, maka komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan talud akan menyebabkan tanah bergerak ke arah bawah seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1. Bila komponen berat tanah tersebut cukup besar, kelongsoran talud dapat terjadi, yaitu tanah dalam zona a b c d e a dapat menggelincir ke bawah. Dengan kata lain, gaya dorong (driving force) melampaui gaya berlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor (Das, 1985).



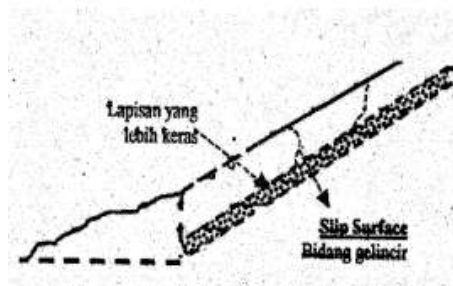
Gambar 2. 1 Diagram Skematik Kelongsoran (Das, 2010)

Berdasarkan jenis bidang longsor, kelongsoran dibagi menjadi empat yakni : 1) Rotational Slide, 2) Translational Slide, 3) Surface Slide, dan 4) Deep Slide. Rotational Slide merupakan kelongsoran yang bidang longsornya serupa dengan busur derajat, log spiral dan bentuk lengkung yang tidak teratur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Translational slide, kelongsoran

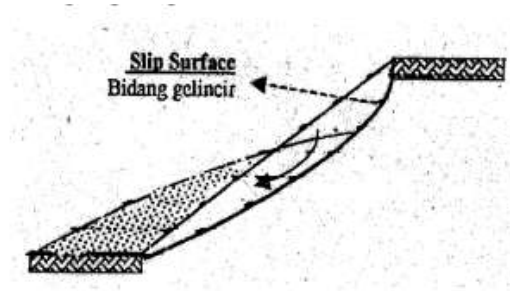
pada tipe ini terjadi apabila ada dua tanah yang memiliki kekuatan geser yang berbeda dan bidang longsornya terjadi pada batas lapisan tanah yang berbeda tersebut (Gambar 2.3). Surface Slide, bidang longsor terbentuk dangkal dan masih dalam batas lereng seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Dan yang terakhir adalah Deep Slide, Deep slide bidang longsor terletak jauh dibawah permukaan tanah dan dalam seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.



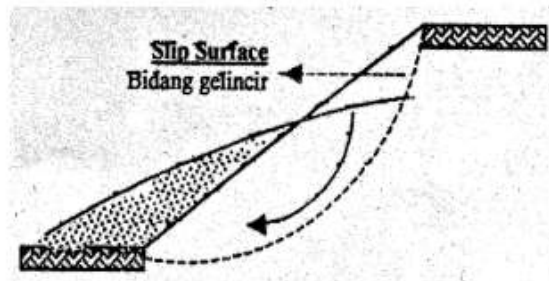
Gambar 2. 2 Rotational Slide



Gambar 2. 3 Translation Slide



Gambar 2. 4 Surface Slide



Gambar 2. 5 Deep Slide

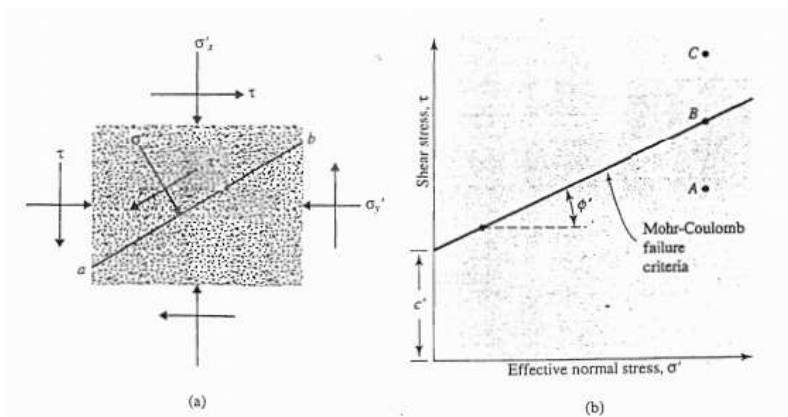
Berbagai macam kelongsoran yang telah dijelaskan sebelumnya terjadi karena beberapa faktor. Faktor yang pertama adalah faktor external seperti terjadi gempa bumi, penambahan beban, kegiatan cutting and filling, serta erosi. Selain faktor external, faktor internal juga mempengaruhi kelongsoran pada lereng seperti masuknya air kedalam lereng sehingga terjadi pengisian rongga tanah dan tanah menjadi lebih berat, naiknya muka air tanah, pengembangan tanah yang diakibatkan oleh rembesan, dan pengaruh geologi morfologi. Semua faktor tersebut berdampak pada tahanan geser tanah atau kuat geser tanah. Tahanan geser tanah muncul karena adanya gaya gesek antar butir tanah, hal ini yang menyebabkan tanah stabil. Namun bila gesekan antar butir tanah mengalami gangguan, gesekan tidak akan

berfungsi lagi sebagaimana mestinya. Oleh sebab itu, terjadilah longsor.

2.2 Tahanan Geser Tanah

Kekuatan geser suatu massa tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut persatuan luas terhadap kerutuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud. Untuk menganalisis masalah stabilitas tanah seperti daya dukung, stabilitas talud (lereng), dan tekanan tanah ke samping pada turap maupun tembok penahan tanah, mula-mula kita harus mengetahui sifat-sifat ketahanan penggesernya tanah tersebut (Das, 1985)

Teori tentang keruntuhan disuguhkan oleh Mohr (1980). Teori tersebut menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan tegangan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 (a).



Gambar 2. 6 Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (Das, 2010)

Teori keruntuhan Mohr-Coulomb menghasilkan persamaan yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (2.1)$$

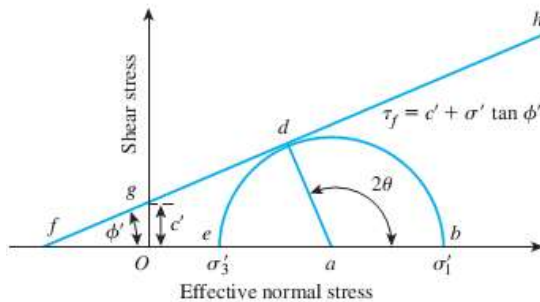
Garis keruntuhan yang dinyatakan pada persamaan (2.1) berbentuk lingkaran seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 2.6 (b). Untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linier antara tegangan normal dan tegangan geser (Coulomb, 1776). Sehingga persamaan (2.1) dapat ditulis sebagai :

$$\tau_f = c + \sigma \tan\phi \quad (2.2)$$

Dimana c = kohesi

Φ = sudut geser dalam

Nilai c dan ϕ merupakan komponen utama pada kuat geser tanah. Nilai c (kohesi) adalah nilai lekatan yang dimiliki suatu elemen tanah. namun hanya tanah yang bersifat lempung saja yang memiliki nilai c , sedangkan pasir tidak. Kemudian untuk sudut geser dalam pada saat keruntuhan adalah sebesar $\theta = 45 + (\phi/2)$. Gambar 2.7 menjelaskan hubungan antara nilai c , ϕ , θ , tegangan geser, dan tegangan normal. Gambar 2.7 disebut juga sebagai lingkaran Mohr yang mewakili tegangan pada saat runtuh. Garis keruntuhan dinyatakan dengan persamaan (2.2) menyinggung lingkaran Mohr pada titik d . Jadi, keruntuhan geser yang terjadi pada bidang tertentu dapat dinyatakan dengan lingkaran berjari-jari da , dan bidang tersebut harus membentuk kemiringan sudut $\theta = 45 + (\phi/2)$ terhadap bidang utama.



Gambar 2. 7 Lingkaran Mohr (Das, 2010)

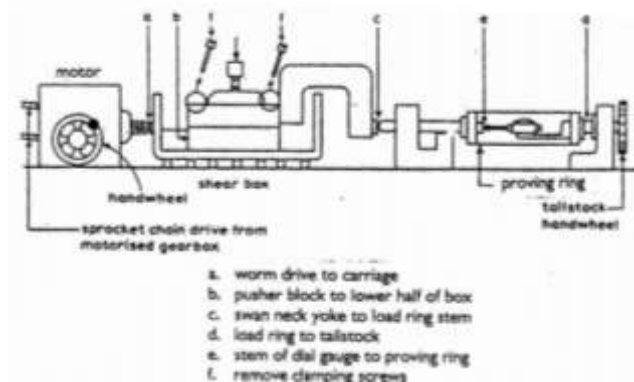
2.3 Uji Direct Shear

Uji *Drect Shear* disebut juga sebagai uji geser langsung. Maksud dari uji geser langsung adalah untuk memperoleh besarnya tahanan geser tanah pada tegangan normal tertentu. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kuat geser tanah. Hasil uji geser langsung dapat digunakan untuk analisis kestabilan lereng, daya dukung pondasi, analisis dinding penahan, dan lain-lain. Uji geser langsung juga memiliki keterbatasan yakni tidak dapat mengukur tekanan air pori yang timbul saat penggeseran dan tidak dapat mengontrol tegangan yang terjadi disekeliling sampel tanah. Selain keterbatasan tersebut, uji geser langsung juga terbatas pada sudut bidang runtuh yang ditentukan 0° saja.

Alat uji geser langsung terdiri dari:

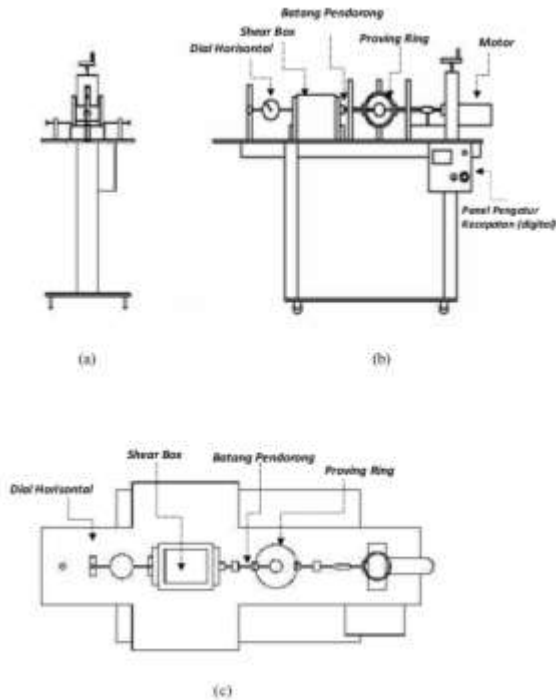
- Shear Box/ kotak geser, terdiri dari 2 buah rangka yang disatukan dengan sekrup. Antara rangka ini dibuat bidang geser sekecil mungkin. Rangka bagian atas dihubungkan dengan piston dan langsung menyambung dengan proving ring. Proving ring inilah yang digunakan sebagai pengukur gaya geser yang diberikan pada sampel tanah.

- Bagian untuk mengeser kotak geser, dilengkapi dengan system transmisi yang memungkinkan untuk mengganti geseran. Penggeseran horizontal dilakukan dengan mesin atau juga bisa secara manual.
- Proving ring
- Dial untuk mengukur deformasi vertikal dan horizontal
- Beban konsolidasi. Ilustrasi alat uji geser ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Alat uji geser
(Lab. Mek Tanah Universitas Pendidikan Indonesia)

Pada tahun 2015, Rusdiansyah telah melakukan modifikasi alat uji geser. Hasil dari modifikasinya adalah Shear Box dibuat lebih besar yaitu berukuran 20 cm x 15 cm x 18 cm dan 20 cm x 15 cm x 12 cm serta memiliki sudut geser yang beragam yakni 15°, 30°, 45°, dan 0°. Tidak hanya itu, dial vertikal dan balok pembebanan dihilangkan karena alat uji geser ini dikhususkan untuk menguji permodelan kinerja cerucuk yang hanya menerima gaya horizontal saja. Ilustrasi alat uji geser langsung modifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Alat uji geser modifikasi (Rusdiansyah, 2015)

2.4 Karakteristik Tanah Lunak

Tanah adalah kumpulan agregat/ butiran mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat tersebut diaduk dalam air. Tanah terdiri dari kumpulan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (loose) yang terletak diatas batuan dasar (bad rock). Menurut K. Terzaghi, tanah terdiri dari butiran-butiran material hasil pelapukan massa batuan massive, dimana ukuran butirannya bisa sebesar bongkahan, berangka, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan kontak butirnya tidak tersementasi termasuk bahan organik.

Lapisan tanah yang disebut sebagai lapisan tanah yang lunak adalah lempung (clay) atau lanau (silt) yang mempunyai harga penetrasi standar (SPT) N yang lebih kecil dari 4; atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Selain itu terdapat korelasi antara N -SPT dengan jenis konsistensi tanah yang lain seperti dijelaskan pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Korelasi N -SPT dan Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung)

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, C_u		Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan conus, q_c (dari Sondir)	
	kPa	ton/m ²		kg/cm ²	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 – 12.5	0 – 1.25	0 – 2.5	0 – 10	0 – 1000
Lunak (soft)	12.5 – 25	1.25 – 2.5	2.5 – 5	10 – 20	1000 – 2000
Menengah (medium)	25 – 50	2.5 – 5.0	5 – 10	20 – 40	2000 – 4000
Kaku (stiff)	50 – 100	5.0 – 10	10 – 20	40 – 75	4000 – 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 – 200	10 – 20	20 – 40	75 – 150	7500 – 15000
Keras (hard)	>200	>20	>40	>150	>15000

(Sumber : Mochtar,2006; revised,2012)

Tanah lempung merupakan jenis tanah berbutir halus dengan ukurannya $< 2\mu$ atau $< 5\mu$ (Mochtar dan Mochtar, 1988). Tanah lempung merupakan tanah kohesif yang memiliki:

- Nilai kadar air berkisar antara 30% – 50 % pada kondisi jenuh air.
- Angka pori berkisar antara 0,9 sampai dengan 1,4 (Braja M.Das, 1985).

- Berat volume berkisar antara $0,9 \text{ t/m}^3$ sampai dengan $1,25 \text{ t/m}^3$ (Braja M.Das, 1985) .
- Spesific Gravity rata – rata berkisar antara 2,70 sampai dengan 2,90.

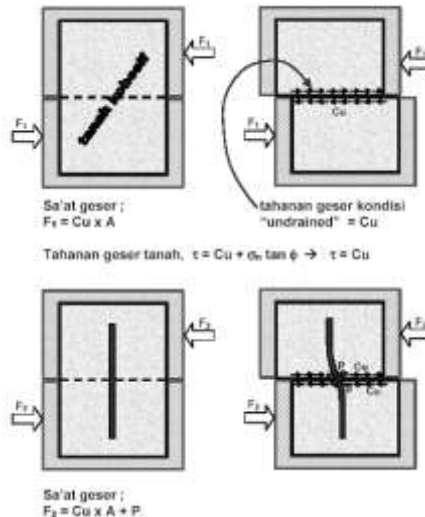
Tanah lempung memiliki gaya geser yang kecil, kemampatan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Nilai kekuatan geser tanah lempung lembek ditentukan dari ikatan butiran antar partikel tanah. Dari permasalahan tersebut, secara teknis tanah lempung bersifat kurang menguntungkan untuk mendukung suatu pekerjaan konstruksi. Karena kurang mendukung, maka diperlukanlah perkuatan pada tanah lunak tersebut.

2.5 Konstruksi Cerucuk

Cerucuk merupakan suatu metode perbaikan tanah yang sering dijumpai guna meningkatkan daya dukung pada tanah yang lunak maupun sebagai penguat lereng timbunan. Cerucuk bisa berupa tiang kayu berukuran panjang 4-6 meter dengan diameter 10 cm. Bisa juga tiang beton untuk tanah lunak yang lebih dalam, dan bila kapasitas daya dukung beban yang lebih besar diperlukan, penggunaan dari tiang beton pracetak lebih cocok. Tiang pracetak berbentuk persegi atau segitiga dengan sisi berukuran 10-40 cm, akan memberikan kapasitas daya dukung yang lebih besar (Departemen PU, 2005).

Penggunaan cerucuk dimaksudkan untuk menaikkan tahanan geser tanah. Tanah asli saat mengalami gaya geser, gaya penahan yang diberikan tanah hanya bergantung pada dua komponen yang telah disebutkan dalam subbab sebelumnya yakni C dan ϕ . Bahkan pada tanah lunak, tahanan geser hanya dipikul oleh nilai C sepanjang bidang geser. Setelah ditambahkan cerucuk, tahanan geser tidak hanya dipikul oleh C saja namun ada tambahan gaya dari cerucuk (P), sehingga kekuatan geser tanah

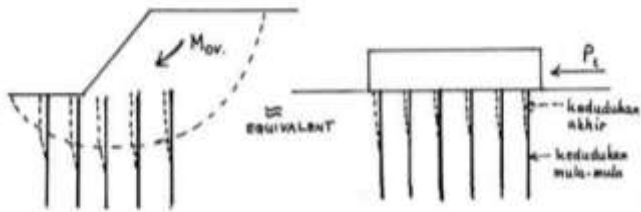
meningkat. Skema peningkatan kuat geser tanah dengan cerucuk bisa dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Skema peningkatan tahanan geser tanah akibat cerucuk (Noor Endah Mochtar,2012)

Teori cerucuk telah dikembangkan oleh Mochtar, I.B (2000) dengan menggunakan asumsi (Gambar 2.11) sebagai berikut:

- Kelompok cerucuk dianggap sebagai kelompok tiang dengan “rigid cap” dimuka tanah yang menerima gaya horizontal.
- Gaya horizontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi disepanjang bidang gelincir.



Gambar 2. 11 Asumsi gaya yang diterima cerucuk (Mochtar,2000)

Teori cerucuk oleh Mochtar I.B (2000) menghasilkan rumus untuk menentukan kekuatan 1 (satu) buah Cerucuk (P) untuk menahan gaya horizontal. Kemudian berdasarkan perbandingan antara momen penggerak dengan momen penahan yang terjadi, dapat ditentukan jumlah cerucuk yang dibutuhkan. Dalam perhitungan tersebut digunakan angka keamanan (SF) sekurang-kurangnya 1,10 untuk kondisi dengan beban sementara (kendaraan) dan sekurang-kurangnya 1,50 untuk kondisi hanya beban timbunan embankment saja.

Untuk menghitung kekuatan 1 (satu) cerucuk, terlebih dahulu harus ditentukan factor kekakuan relative (T) dari cerucuk seperti yang telah dijelaskan dalam NAVFAC DM-7, 1971 yaitu:

$$T = \left[\frac{EI}{f} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (2.3)$$

Dimana:

E = modulus elastisitas cerucuk, kg/cm²

I = momen inersia cerucuk, cm⁴

f = koefisien dari variasi modulus tanah, kg/cm³

T = faktor kekakuan relative, cm

Harga f didapat dengan bantuan Gambar 2.12 (design Manual, NAVFAC DM-7) yang merupakan grafik hubungan antara f dengan unconfined compression strength, $q_u = 2 C_u$. Harga T yang telah diperoleh dipakai untuk menghitung gaya horizontal (P) yang mampu ditahan oleh satu tiang dengan persamaan:

$$M_P = F_M(P \times T) \quad (2.4)$$

Dimana:

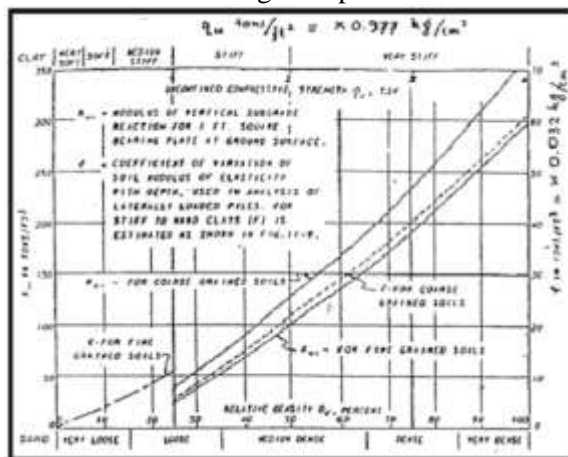
M_P = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban P , kg-cm

F_M = koefisien momen akibat gaya lateral P

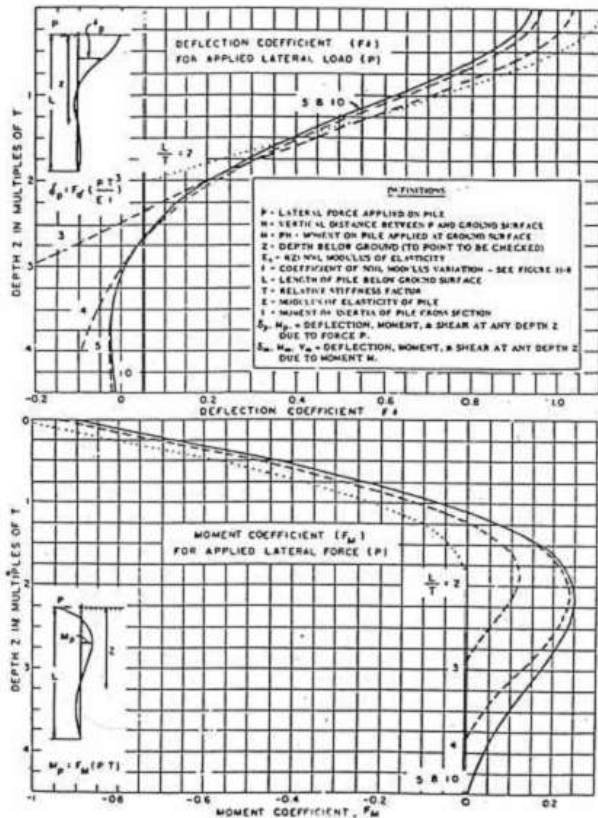
P = gaya horizontal yang diterima cerucuk, kg

T = faktor kekakuan, cm

Harga F_M ditentukan dengan menggunakan Gambar 2.13 (design Manual, NAVFAC DM-7) dengan terlebih dahulu merencanakan panjang cerucuk yang tertahan dibawah bidang gelincir (L). Dengan bantuan Gambar 2.13, harga L/T kemudian dipakai untuk menentukan harga F_M pada kedalaman Z .



Gambar 2. 12 grafik hubungan antara f dengan q_u (NAVFAC DM-7,1971)

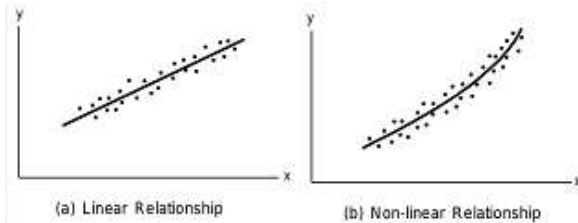


Gambar 2. 13 grafik untuk menentukan harga F_m pada kedalaman Z (NAVFAC DM-7, 1971)

2.6 Regresi

Curve fitting atau disebut dengan regresi adalah prosedur dimana persamaan matematika digunakan untuk menyesuaikan himpunan titik – titik data yang paling sesuai. Regresi digunakan saat nilai dari titik data memiliki beberapa kesalahan atau menyebar sehingga dibutuhkan kurva yang pas untuk titik

tersebut. Regresi bisa di selesaikan dengan banyak tipe fungsi dan persamaan polynomial seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 2.12 a dan 2.12 b.



Gambar 2. 14 Jenis regresi

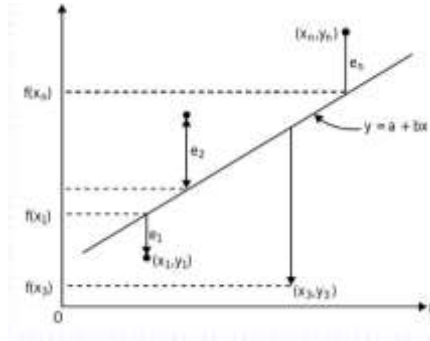
Regresi yang menggunakan persamaan linier atau polynomial derajat satu terbentuk dari persamaan sebagai berikut:

$$y = a + bx$$

Prosedur tersebut untuk memperoleh nilai konstanta a dan b yang memberikan bentuk kurva yang paling pas dengan meminimalisir error ($e_1 \dots e_n$) atau residual. Gambar 2.13 menunjukkan error terhadap garis regresi. Besarnya nilai error ini bisaditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (2.5)$$

Fungsi S_r (simpangan baku) memiliki nilai minimum untuk nilai a dan b dimana turunan parsial dari S_r terhadap setiap variabel sama dengan nol sehingga didapat persamaan 2.6 dan 2.7



Gambar 2. 15 Error e_i dari titik ke garis regresi $y = a + bx$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0 \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n [(y_i - a - bx_i)x_i] = 0 \quad (2.7)$$

Persamaan 2.6 dan 2.7 juga bisa ditulis sebagai persamaan berikut:

$$na + [\sum_{i=1}^n x_i]b = \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.8)$$

$$[\sum_{i=1}^n x_i]a + [\sum_{i=1}^n x_i^2]b = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (2.9)$$

Koefisien determinasi atau r^2 merepresentasikan proporsi dari jumlah kuadrat yang dijelaskan dengan menggunakan model regresi. Rumus perhitungan r^2 sebagai berikut:

$$r^2 = b \frac{SS_{xy}}{SS_{yy}} \quad 0 < r^2 \leq 1 \quad (2.10)$$

Dimana:

$$SS_{xy} = \sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n} \quad (2.11)$$

$$SS_{xx} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \quad (2.12)$$

$$SS_{yy} = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \quad (2.13)$$

Persamaan persamaan diatas merupakan persamaan dasar untuk menentukan regresi linier sedangkan untuk regresi polynomial menggunakan prosedur *least-square* yang digunakan untuk mencari persamaan data yang memiliki pangkat orde tinggi. Persamaan berikut merupakan persamaan umum orde dua atau kuadrat:

$$y = a + bx + cx^2 \quad (2.14)$$

Dengan simpangan sebagai berikut:

$$Sr = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i - cx_i^2)^2 \quad (2.15)$$

Dari persamaan 2.15 diambil turunan pertama untuk setiap koefisien sehingga menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_r}{\partial a} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i - cx_i^2) = 0 \\ \frac{\partial S_r}{\partial b} &= -2 \sum_{i=1}^n [(y_i - a - bx_i - cx_i^2)x_i] = 0 \\ \frac{\partial S_r}{\partial c} &= -2 \sum_{i=1}^n [(y_i - a - bx_i - cx_i^2)x_i^2] = 0 \end{aligned} \quad (2.16)$$

Persamaan 2.16 juga dapat ditulis sebagai:

$$\begin{aligned} na + \left[\sum_{i=1}^n x_i \right] b + \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 \right] c &= \sum_{i=1}^n y_i \\ \left[\sum_{i=1}^n x_i \right] a + \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 \right] b + \left[\sum_{i=1}^n x_i^3 \right] c &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 \right] a + \left[\sum_{i=1}^n x_i^3 \right] b + \left[\sum_{i=1}^n x_i^4 \right] c &= \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \end{aligned} \quad (2.17)$$

Namun dalam regresi data pada tugas akhir ini dipakai fungsi *trendline* pada program Microsoft Excel dan fungsi regresi pada program Minitab 16.

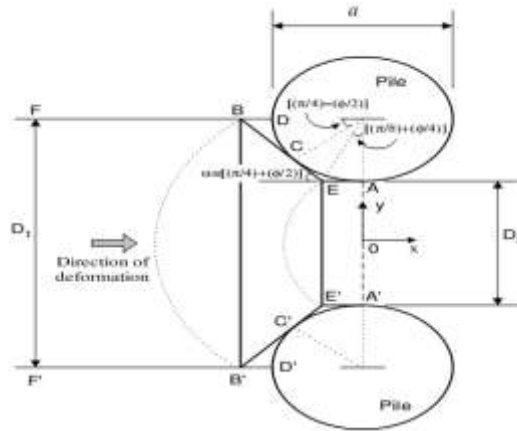
2.7 Perkembangan Teori Cerucuk

Dari sekian banyak penelitian yang telah ada hanya empat diantaranya yang menghasilkan formula empiris. Yakni:

- Ito dan Matsui (1975)

Pada Penelitian ini didasarkan pada permodelan matematis. Ito dan Matsui (1975) menjelaskan bahwa gaya penahan tanah ditentukan oleh deformasi plastis tiang (cerucuk) pada saat terjadi kelongsoran. Deformasi plastis tiang sebanding dengan gaya lateral yang diterima oleh tiang tersebut. Untuk menentukan besarnya nilai gaya lateral ditentukan dengan menggunakan dua batasan. Batasan pertama pada kondisi tanah tidak bergerak, maka gaya lateral akan bernilai nol. Pada kondisi ini pula tahanan geser tanah tidak mengalami penurunan. Batasan kedua adalah batasan ekstrim atau ultimate pada saat kelongsoran. Asumsi yang diberikan oleh Ito dan Matsui (1975) memenuhi criteria Mohr Coloumb yang terjadi disekitar tiang (Gambar 2.16). Namun stabilitas lereng tidak diperhitungkan dalam penentuan

besarnya nilai gaya lateral. Persamaan yang dihasilkan Ito dan Matsui (1975) dapat dilihat pada persamaan 2.14.



Gambar 2. 16 Deformasi plastis pada tanah disekitar tiang
(Ito dan Matsui, 1975)

Dalam Gambar 2.16 dinyatakan sebagai berikut :

- Ketika lapisan tanah berdeformasi, dua bidang runtuh, AEB dan A'E'B', membentuk sudut $[(\pi/4) + (\phi/2)]$ dengan axis-x.
- Tanah dalam kondisi keseimbangan plastik hanya dalam daerah AEBB'E'A' dimana kriteria keruntuhan Mohr-Coulumb berlaku.
- Tekanan tanah aktif bekerja pada garis AA'.
- Kondisi plane strain terjadi sesuai dengan kedalaman.
- Tiang adalah kaku.
- Gaya gesek pada permukaan AEB dan A'E'B' diabaikan ketika distribusi
- tegangan pada tanah diperhitungkan.

$$\begin{aligned}
p = Ac \left[\frac{1}{N_{\phi} \tan \phi} \left\{ \exp \left(\frac{D_1 - D_2}{D_2} N_{\phi} \tan \phi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right) - 2 N_{\phi}^{1/2} \tan \phi - 1 \right\} \right. \\
\left. + \frac{2 \tan \phi + 2 N_{\phi}^{1/2} + N_{\phi}^{-1/2}}{N_{\phi}^{1/2} \tan \phi + N_{\phi} - 1} \right] - c \left[D_1 \frac{2 \tan \phi + 2 N_{\phi}^{1/2} + N_{\phi}^{-1/2}}{N_{\phi}^{1/2} \tan \phi + N_{\phi} - 1} - 2 D_2 N_{\phi}^{-1/2} \right] \\
+ \frac{\gamma z}{N_{\phi}} \left[D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{(N_{\phi}^{1/2} \tan \phi + N_{\phi} - 1)} \exp \left(\frac{D_1 - D_2}{D_2} N_{\phi} \tan \phi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right) - D_2 \right]
\end{aligned}$$

Persamaan cerucuk oleh Ito Matsui (2.18)

Dimana:

C = kohesi

D₁ = jarak antara dua tiang dari pusat lingkaran

D₂ = jarak antara dua tiang dari lingkaran luar

Φ = sudut gesek dalam tanah

Y = berat volume tanah

Z = kedalaman dari permukaan tanah

$N_{\phi} = \tan^2 (\pi/4 + \phi/2)$

Formula yang diberikan oleh Ito dan Matsui (1975) hanya berlaku pada kondisi cerucuk rigid dan panjang cerucuk terbatas.

- Mochtar (2000)

Telah dibahas pada subbab sebelumnya teori cerucuk yang diperkenalkan oleh Mochtar (2000). Teori ini telah banyak digunakan dalam penanganan kasus kelongsoran yang diperbaiki oleh cerucuk. Namun teori ini hanya berdasarkan pada NAVFAC DM-7,1971 dan belum pernah dilakukan

penelitian lanjut di laboratorium. Jadi nilai kekuatan maximum satu tiang cerucuk hanya berdasarkan perhitungan empiris.

- Mochtar dan Arya (2002)

Penelitian selanjutnya dilakukan pada tahun 2002 oleh Mochtar dan Arya melalui pengujian di Laboratorium. Dari pengujian tersebut didapat faktor koreksi terhadap semua jenis kekakuan Cerucuk, panjang pemancangan, jumlah Cerucuk, dan koreksi terhadap jenis tanah. sehingga perumusan empiris cerucuk berubah menjadi sebagai berikut :

$$P_{\max (1 \text{ cerucuk })} = \frac{M_{p \max (1 \text{ cerucuk })}}{F_m \times T} \times F_k \quad (2.19)$$

Dimana besarnya nilai F_k (Faktor koreksi) ditentukan dengan persamaan:

$$F_k = 2.643 \left[\frac{0.89 + 0.12 \frac{L}{D}}{2.69} \right] \left[\frac{0.855 C_u^{-0.392}}{2.865} \right] \quad (2.20)$$

Penelitian yang dilakukan oleh Mochtar dan Arya (2002) ini memiliki kekurangan yaitu alat geser yang relative kecil (D 9.5 cm dan t 12 cm), dan jumlah serta jarak cerucuk belum bisa mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

- Rusdiansyah (2015)

Hasil koreksi dan pengembangan teori Cerucuk oleh Mochtar dan Arya (2002) dirasa masih belum memuaskan dan belum mendekati kondisi sebenarnya di lapangan. Sehingga diadakanlah penelitian lanjut oleh Rusdiansyah (2015). Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Rusdiansyah (2015) didapatkan kesimpulan bahwa tahanan geser tanah pada stabilitas lereng yang diperkuat dengan

Cerucuk tidak hanya dipengaruhi oleh parameter momen maksimum (M_{\max}), koefisien momen (F_m), dan faktor kekakuan Cerucuk (T), oleh (Mochtar, 2000). Tapi juga dipengaruhi oleh : a) panjang tancap Cerucuk, b) jarak atau spasi antar Cerucuk, c) jumlah Cerucuk dan faktor efisiensi, d) diameter Cerucuk, e) posisi tancap Cerucuk, f) pola pemasangan Cerucuk, dan g) jenis tanah. Persamaan teori cerucuk oleh Rusdiansyah (2015) adalah sebagai berikut:

$$P_{\max (1 \text{ cerucuk})} = \frac{M_{p \max (1 \text{ cerucuk})}}{F_m \times T} \times F_{kg} \quad (2.21)$$

Dimana:

$$F_{kg} = 2.30 * Y_t * Y_D * Y_S * Y_n$$

F_{kg} = faktor koreksi gabungan

2.30= nilai rata-rata $P_{lab}/P_{analitis}$ (tahanan geser)

$$\begin{aligned} Y_t &= \text{persamaan pengaruh rasio tancap cerucuk} \\ &= 0.1(X_t) - 0.35 \end{aligned}$$

X_t = rasio tancap (L/D)

$$\begin{aligned} Y_d &= \text{persamaan pengaruh diameter cerucuk} \\ &= 46.616(X_d) - 3.582 \end{aligned}$$

X_d = rasio D/T

$$\begin{aligned} Y_n &= \text{persamaan pengaruh jumlah cerucuk/faktor efisiensi} \\ &= 1.051 - 0.047(X_n) \end{aligned}$$

X_n = jumlah cerucuk

Dengan syarat:

- Spasi cerucuk yang digunakan 3D sampai 8D
- Rasio tancap yang digunakan $L/d = 5$ sampai $L/D = 20$
- Untuk nilai $0 < L/D < 5$ maka digunakan persamaan $Y_t = 0.02(X_t)$. Sedangkan untuk nilai $L/D > 20$ maka digunakan nilai $Y_t \leq 1.45$
- Rasio D/T yang digunakan 0.099 sampai 0.113
- $Y_d = 1.0$ jika $D/T = 0.1$
- $Y_d \text{ min} = 1.0$; $Y_d \text{ max} = 1.7$

Rumus empiris yang telah dikembangkan oleh Rusdiansyah (2015) masih terbatas oleh persyaratan sebagai berikut:

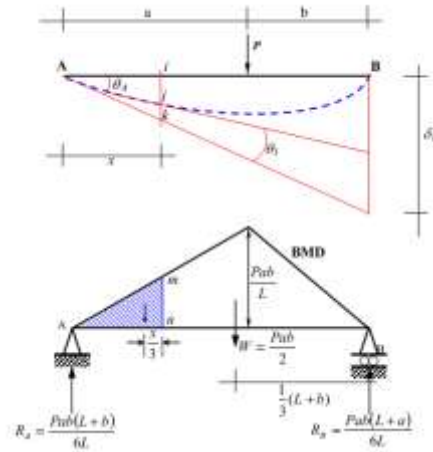
- Spasi 3D sampai 8D.
- Rasio tancap $L/D = 5$ s.d. $L/D = 20$.
- Rasio D/T yang digunakan 0.099 s.d. 0.113.
- Diameter Cerucuk 3 mm s.d. 6 mm.

2.8 Metode Luas Bidang Momen

Metode luas bidang momen merupakan metode yang digunakan untuk menentukan besarnya defleksi pada balok. Contoh penerapan metode ini diperlihatkan oleh Gambar 2.17

Dari Gambar 2.17, W adalah luas bidang momen yang besarnya

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{P_{ab}}{L} = \frac{P_{ab}}{2} \quad (2.22)$$



Gambar 2. 17 Konstruksi Balok Sederhana dan Garis Elastik

Berdasarkan definisi II pada metode luas bidang momen “ Jarak vertikal pada suatu tempat yang dibentuk dua garis singgung pada dua titik suatu balok besarnya sama dengan statis momen luas bidang momen terhadap tempat tersebut dibagi dengan EI ” maka didapat:

$$\delta_1 = \frac{\text{statis momen luas bidang momen terhadap } B}{EI} \quad (2.23)$$

$$\delta_1 = \left(\frac{Pab}{2} \right) \left(\frac{1}{3}(L+b) \right) \frac{1}{EI}$$

$$\delta_1 = \frac{Pab(L+b)}{6EI}$$

Pada umumnya lenditan yang terjadi cukup kecil. Maka berdasarkan pendekatan geometris akan diperoleh:

$$\delta_1 = \theta_A \cdot L \quad \text{atau} \quad \theta_A = \frac{\delta_1}{L} \quad (2.24)$$

$$\theta_A = \frac{Pab(L+b)}{6EIL} = \frac{R_A}{EI}$$

Dengan cara yang sama akan dihasilkan:

$$\theta_B = \frac{Pab(L+a)}{6EIL} = \frac{R_B}{EI}$$

Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa sudut tangent di A dan di B besarnya sama dengan reaksi perletakan dibagi EI.

Berdasarkan Gambar 2.17, sebenarnya yang akan dicari adalah deflesi pada titik C sejauh x meter dari dukungan A (potongan i-j-k) yaitu sebesar Z_c .

$$Z_c = ij = ik - jk \quad (2.25)$$

Berdasarkan geometri, maka besarnya $ik = \theta_A \cdot x$, maka

$$ik = \frac{R_A}{EI} x \quad (2.26)$$

Sedangkan berdasarkan definisi II adalah statis momen luasan A-m-n terhadap bidang m-n dibagi EI, maka

$$jk = \frac{\text{luas } A-m-n \cdot \frac{x}{3}}{EI} \quad (2.27)$$

Sehingga lendutan di Z_c yang berjarak x dari A, adalah:

$$Z_c = ij = ik - jk$$

$$Z_c = \frac{1}{EI} \left(R_A x - \text{luas } Amn \cdot \frac{x}{3} \right) \quad (2.28)$$

Berdasarkan persamaan 2.28 didapat definisi III sebagai berikut:

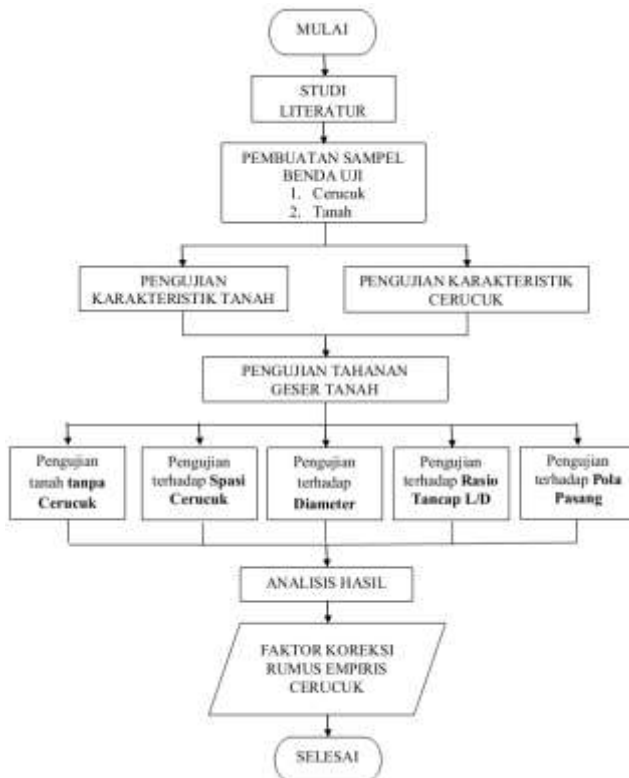
Definisi III : Lendutan disuatu titik di dalam suatu bentangan balok sederhana besarnya sama dengan momen titik tersebut dibagi dengan EI apabila bidang momen sebagai beban.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Bagan Alir Rancang Penelitian

Tahapan penelitian mekanisme peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk berdasarkan permodelan empiris di Laboratorium ditunjukkan oleh Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Bagan Alir Rancang Penelitian

Kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil ITS. Tahapan-tahapan utama dalam penelitian ini adalah: 1) Studi Literatur, 2) Pembuatan sampel benda uji, 3) Pengujian karakteristik benda uji, 4) Pengujian tahanan geser tanah dengan berbagai variabel, dan 5) Analisis hasil.

3.2 Studi Literatur

Studi Literatur yang dimaksudkan adalah mengumpulkan bahan-bahan yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Bahan sudi yang digunakan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut:

- Referensi tentang pengaruh peningkatan tahanan geser tanah dengan adanya cerucuk.
- Penelitian terdahulu mengenai peningkatan tahanan geser tanah dengan adanya cerucuk berdasarkan permodlan di Laboratorium.
- Analisis hasil penelitian terdahulu untuk mendapatkan faktor koreksi terhadap perumusan empiris cerucuk.

3.3 Pembuatan Sampel Benda Uji

Pembutan sampel benda uji dibagi menjadi dua, yakni:

- Benda uji cerucuk.
- Benda uji tanah.

Benda uji ceucuk yang akan diuji berukuran mini yakni diameter 2 mm dan 2,5 mm serta panjang sekitar 20 cm dengan bahan dasar bambu.

Benda uji tanah berbentuk kotak dengan dimensi 20 cm x 15 cm x 18 cm dan 20 cm x 15 cm x 12 cm. Pengambilan sampel

tanah dilakukan menggunakan kotak sampel yang terbuat dari besi. Pada salah satu sisi dari kotak tersebut terdapat *bottom plate* yang berfungsi sebagai penutup sementara. Sebelum proses pengambilan sampel tanah, perlu dilaksanakan survey lokasi untuk mendapatkan informasi lokasi lahan yang memiliki tanah dengan jenis yang diinginkan. Dalam penelitian ini, jenis tanah yang digunakan adalah tanah lempung yang memiliki tingkat konsistensi lunak (*soft*).

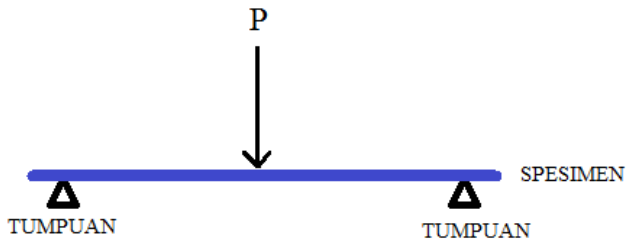
Jika lokasi telah ditentukan, maka dilakukan tes pits pada tanah tersebut dengan prosedur sebagai berikut:

1. Lahan dibersihkan dan digali sedalam kurang lebih 50 – 100 cm
2. Kotak besi secara perlahan ditekan sampai kotak tersisi penuh oleh tanah. Untuk mempermudah pengambilan sampel, kotak sampel bagian dalam harus diolesi dengan gel pelumas.
3. Setelah kotak terisi penuh oleh tanah, bagian sisi luar kotak digali dan secara perlahan kotak yang berisi sampel tanah dipotong menggunakan pisau pemotong. Proses ini bertujuan untuk sampel tanah yang akan diuji tetap utuh dan dalam keadaan *undisturbed*.
4. Untuk menghindari penguapan air tanah pada sampel, bagian penutup kotak diisolasi dengan rapat.
5. Semua sampel benda uji yang didapat dari tes Pits dipindahkan ke Laboratorium untuk diuji.
6. Di Laboratorium, benda uji dikeluarkan dari kotak dengan bantuan alat pendorong tanah vertikal dan langsung dimasukkan pada kotak geser. Sampel tanah yang akan diuji maksimal boleh didiamkan selama 1 hari sebelum pengujian.

3.4 Pengujian Karakteristik Benda Uji

Pengujian karakteristik benda uji cerucuk adalah dengan cara melakukan tes bending. Pada tes bending dapat diketahui

nilai gaya dan lendutan yang terjadi. Dari nilai gaya dan lendutan yang terjadi, modulus elastisitas dan tegangan maksimum bisa dihitung. Tes bending diilustrasikan pada gambar 3.2.



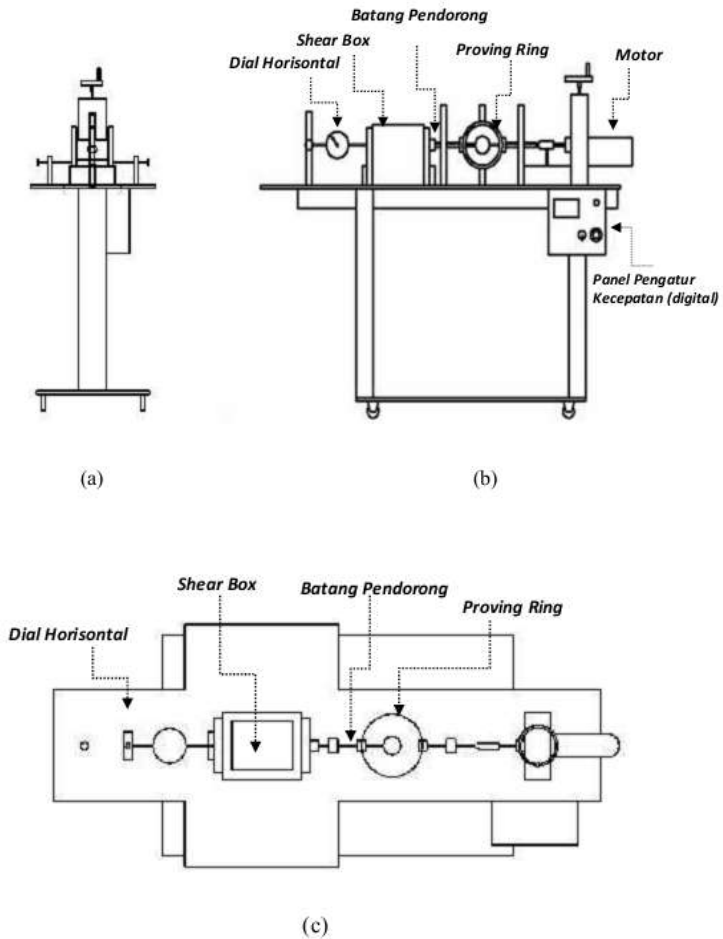
Gambar 3. 2 Ilustrasi tes bending cerucuk

Pada tahap pengujian karakteristik tanah, tanah yang diperoleh dari tes pits akan diuji untuk memperoleh beberapa parameter sebagai berikut:

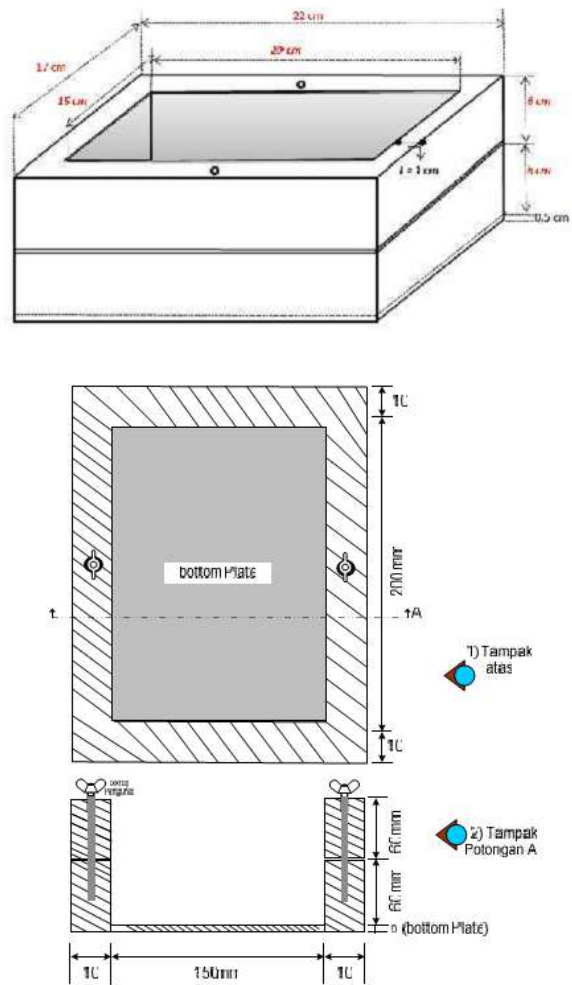
- Uji sifat fisik untuk mendapatkn data kadar air (w_c), berat volume (γ), angka pori (e), porositas (n), dan berat jenis (G_s).
- Uji plastisitas untuk mendapatkan data batas konsistensi tanah (LL , SL , dan PL).
- Uji geser untuk mendapatkan C_u (*cohesion undrained shear strength*).

Pengujian geser tanah dilakukan dengan menggunakan alat *direct shear* yang telah dimodifikasi oleh Rusdiansyah (2015). Hasil dari modifikasinya adalah Shear Box dibuat lebih besar dan memiliki sudut geser yang beragam (Gambar 3.4). Tidak hanya itu, dial vertikal dan balok pembebanan dihilangkan karena alat uji geser ini dikhususkan untuk menguji permodelan kinerja cerucuk yang hanya menerima gaya horizontal saja.

Ilustrasi alata uji geser langsung modifikasi dapat dilihat pada. Ilustrasi alat uji ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 *Direct Shear* (Rusdiansyah, 2015)



Gambar 3. 4 *Shear Box* (Rusdiansyah, 2015)

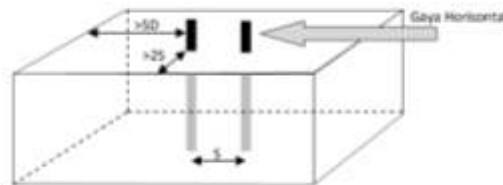
3.5 Pengujian Tahanan Geser Tanah dengan berbagai Variasi Cerucuk

Tahapan pertama dalam pengujian tahanan geser adalah pengujian sampel tanah saja (tanpa ditancapi cerucuk). Hal ini bertujuan untuk mengetahui tahanan geser yang dimiliki oleh tanah tersebut tanpa perkuatan apapun. Untuk satu kali uji diperlukan 1 (satu) buah sampel tanah dengan konsistensi lunak.

Tahapan selanjutnya adalah menguji tahanan geser tanah-cerucuk untuk memperoleh besar gaya geser yang dapat ditahan oleh model tanah-cerucuk (Plab) dengan beberapa variasi perlakuan, antara lain:

- Spasi kelompok cerucuk
- Diameter cerucuk
- Rasio Tancap L/D
- Pola Pasang berkelompok

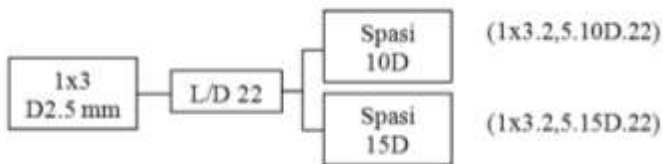
Masing-masing benda uji dengan variasi perlakuan dites dengan alat uji geser langsung yang telah dimodifikasi. Perlu diperhatikan juga bahwa pada *shear box* harus disediakan ruang bebas dari zona pengaruh reaksi cerucuk. Menurut Reese dan Van Impe (2001) bahwa zona pengaruh tiang saat menerima gaya horizontal adalah tidak lebih dari $5D$ (D = diameter tiang). Hal ini dijelaskan dalam Gambar 3.5



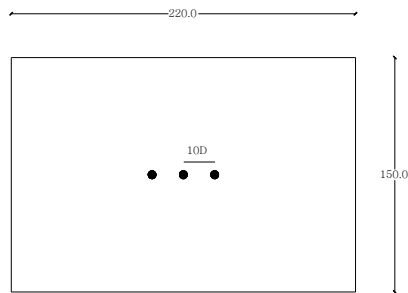
Gambar 3. 5 Zona Pengaruh reaksi tiang akibat gaya horizontal (Reese et al, 2001)

a) Uji Geser Tanah-Cerucuk dengan Variasi Spasi Cerucuk

Jarak antar cerucuk (spasi) yang ditetapkan bervariasi yaitu 10D dan 15D. Pola pemasangan (contoh pola pemasangan dapat dilihat pada Gambar 3.7) untuk tiap spasi ditentukan 1X3 buah cerucuk. Untuk variasi selain spasi ditunjukkan oleh Gambar 3.6 Bagan Alir variasi spasi.



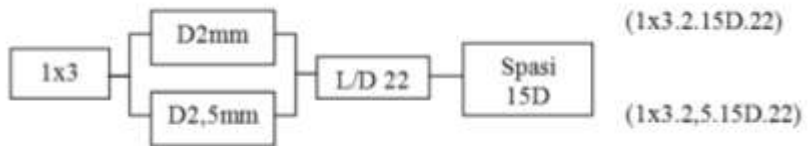
Gambar 3. 6 Bagan Alir variasi spasi



Gambar 3. 7 Pola Pemasangan Terhadap Variasi Spasi

b) Uji geser tanah-cerucuk berdasarkan diameter

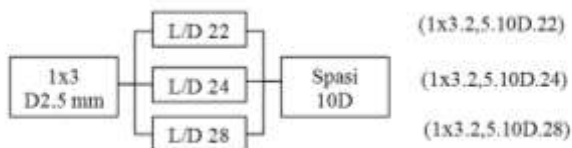
Diameter (mm) yang ditetapkan bervariasi yaitu D2mm dan D2,5 mm. Pola pemasangan untuk tiap diameter ditentukan 1 x 3 buah cerucuk. Untuk variasi selain spasi ditunjukkan oleh Gambar 3.8 Bagan Alir variasi diameter.



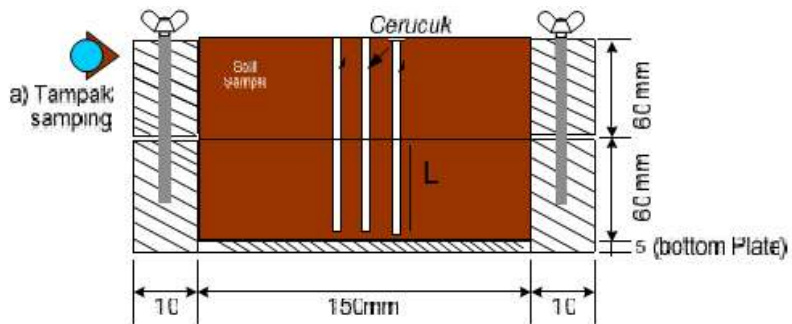
Gambar 3. 8 Bagan Alir variasi diameter

c) Uji geser tanah-cerucuk dengan variasi rasio tancap L/D

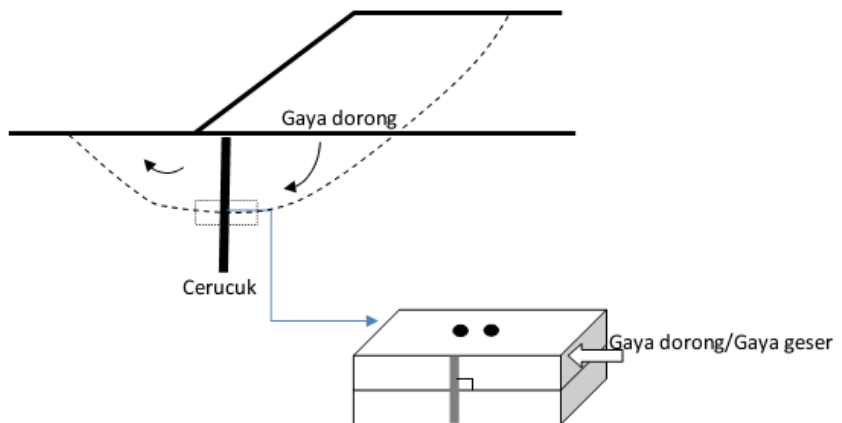
Pengujian ini dilakukan terhadap benda uji tanah lempung lunak yang telah ditancapi dengan batang cerucuk diameter 2,5 mm. Cerucuk ditancap kedalam benda uji dengan panjang tancapan cerucuk dibuat sama antara bagian bawah dengan atas bidang geser. Perbandingan panjang cerucuk (L) yang terletak dibagian atas atau bawah bidang geser terhadap diameter (D) model cerucuk yang tertancap disebut rasio tancap (L/D). Dalam penelitian ini rasio tancap (L/D) yang digunakan sebesar 22, 24, dan 28. Pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11 diilustrasikan posisi model cerucuk dengan variasi rasio tancap dimana sudut kemiringan bidang geser yang diterapkan sebesar 0° (bidang geser tidak membentuk sudut terhadap garis horisontal). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh panjang tancapan cerucuk terhadap besar gaya geser yang dapat ditahan oleh model tanah-cerucuk. Untuk variasi selain spasi ditunjukkan oleh Gambar 3.9 Bagan Alir variasi rasio tancap.



Gambar 3. 9 Bagan Alir variasi rasio tancap.



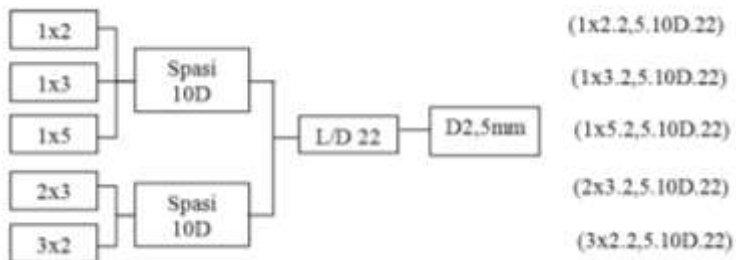
Gambar 3. 10 Rasio Tancap (Rusdiansyah,2015)



Gambar 3. 11 Ilustrasi cerucuk dalam lereng dilapangan dengan sudut geser kotak 0° (Rusdiansyah,2015)

d) Uji geser tanah-cerucuk dengan variasi pola pemasangan

Gambar 3.12 menunjukkan bagan alir variasi pemasangan berdasarkan pola pasang cerucuk.



Gambar 3. 12 Bagan Alir Variasi Pola Pasang

Variasi terhadap pola pasang dibagi menjadi dua yakni variasi jumlah dengan pola pasang 1x2, 1x3, dan 1x5. Sedangkan untuk pola pasang 2x3 dan 3x2 termasuk dalam variasi pola pasang itu sendiri.

3.6 Analisis Hasil

Semua pengujian terhadap benda uji dengan variasi perlakuan yang akan dilakukan menghasilkan besar gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji tersebut (Pgeser atau Plab). Plab untuk masing-masing variasi perlakuan dari hasil percobaan laboratorium akan dibandingkan dengan Panalitis. Dimana Panalitis adalah gaya geser yang ditentukan secara analitis dengan menggunakan rumus NAVFAC DM.7. Perbandingan ini akan menghasilkan nilai koreksi. Selain itu hubungan Plab untuk masing-masing variasi perlakuan akan diplot kedalam bentuk korelasi grafis. Pada akhirnya akan dapat ditentukan pemodelan empiris untuk kekuatan geser cerucuk dalam tanah dengan faktor-faktor koreksi. Tabel 3.1 menunjukkan nama sampel dan faktor koreksi yang dihasilkan.

Tabel 3. 1 Rekap Faktor koreksi yang dihasilkan oleh setiap benda uji

Nama Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Output	Faktor koreksi terhadap
1x3.2,5.10D.22	1x3	Plabmax	Spasi
1X3.2,5.15D.22	1x1	Plabmax	
1X3.2.10D.22	1x3	Plabmax	Diameter
1X3.2,5.10D.22	1x1	Plabmax	
1X3.2,5.10D.22	1x1	Plabmax	Rasio tancap L/D
1X3.2,5.10D.24	1x3	Plabmax	
1X3.2,5.10D.28	1x1	Plabmax	
1X2.2,5.10D.22	1x1	Plabmax	Pola pasang
1X3.2,5.10D.22	1x1	Plabmax	
1X5.2,5.10D.22	1x3	Plabmax	
2X3.2,5.10D.22	1x1	Plabmax	
3X2.2,5.10D.22	1x1	Plabmax	

BAB IV

HASIL PENGUJIAN

4.1 Pembuatan Benda Uji

4.1.1. Benda Uji Cerucuk

Sampel cerucuk berbahan dasar bambu. Untuk mempermudah proses pembuatan, bambu dibawa ke bengkel tusuk sate UD. Bamboo Alam di desa Kedung Bogo, Ngusikan, Jombang. Sampel cerucuk haruslah bersifat homogen agar karakteristik setiap cerucuk tidak berbeda jauh. Beberapa hal yang harus diperhatikan pada pemilihan bahan bambu adalah sebagai berikut:

- Bambu yang digunakan harus dari satu batang yang sama.
- Bagian yang digunakan adalah bagian tengah, bukan pada bagian tepi kulit bambu.
- Ruas bambu tidak boleh disertakan.

Dari satu batang bambu, di potong – potong menjadi panjang 20 cm, dan dengan mesin serut langsung di hasilkan bentuk tusuk berdiameter 2,5 mm. Untuk pembuatan sampel dengan diameter 2mm, tusuk 2,5 mm diraut secara manual sampai berdiameter 2mm. Proses pembuatan sampel cerucuk dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Proses Pembuatan Sampel Cerucuk

4.1.2. Benda Uji Tanah

Kegiatan sampling tanah berlokasi di belakang Gedung Robotika ITS. Pengambilan benda uji tanah dilakukan dengan cara tes pits yakni pengupasan pada permukaan tanah sampai dengan elevasi dibawah muka air tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Pada saat pengambilan sampel tanah, elevasi muka air tanah sama dengan elevasi muka tanah, sehingga penggalian hanya dilakukan sedalam 0.5-1 meter dan membutuhkan pompa untuk mengeluarkan air pada galian.

Benda uji tanah yang diambil dengan kotak sampel berukuran sama dengan ukuran kotak geser pada mesin direct shear modifikasi. Banyaknya sampel yang diambil tergantung dengan banyaknya variabel yang akan diuji. Proses pengambilan sampel tanah dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 2 Elevasi muka air tanah



Gambar 4. 3 Pengambilan sampel tanah

4.2 Pengujian Karakteristik Benda Uji

4.2.1. Benda uji cerucuk

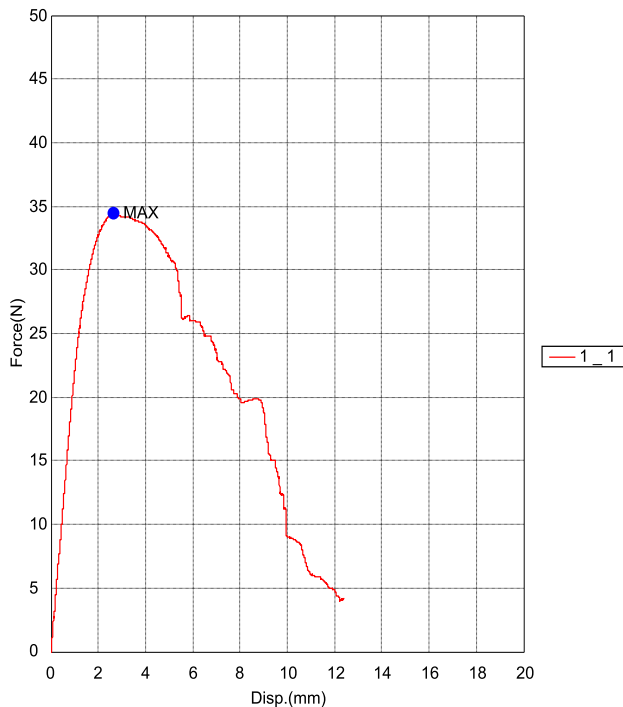
Pengujian karakteristik cerucuk dilakukan untuk memperoleh nilai modulus elastisitas bahan dan tegangan maksimum yang mampu diterima oleh bahan tersebut. Untuk mendapatkan karakteristik tersebut, dilakukan uji *bending* atau lentur di Laboratorium Teknologi Beton dan Bahan Teknik Sipil ITS. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji bending otomatis yang hasilnya akan ditampilkan pada komputer seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Alat Uji Lentur

Bentang yang digunakan antar tumpuan sebesar 50 mm dengan jumlah spesimen 10 unit. Hasil dari pengujian adalah grafik hubungan antara gaya dan lendutan yang terjadi (hasil pengujian spesimen terlampir pada Lampiran 1). Contoh grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.5. Dari nilai gaya dan lendutan dapat diperoleh nilai modulus elastisitas rata-rata dari setiap spesimen dengan menggunakan metode luasan momen adalah sebesar $29243,8 \text{ N/mm}^2$ seperti ditunjukkan oleh Tabel

4.1. Nilai modulus elastisitas ini menunjukkan kelenturan yang dimiliki oleh bahan tersebut. Sedangkan kekuatan bahan ditunjukkan oleh Tabel 4.2 yakni nilai tegangan maksimum rata-rata yang terjadi sebesar $316,88 \text{ N/mm}^2$. Hasil menunjukkan prosentase standart deviasi terhadap rata-rata pada Tabel 4.1 maupun 4.2 tergolong kecil karena kurang dari 20%. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan cerucuk yang digunakan relatif homogen.



Gambar 4. 5 Grafik Hasil uji lentur specimen 1-1

Tabel 4. 1 Nilai E rata-rata

		1_1	1_2	1_3	1_4	1_5	1_6	1_7	1_8	1_9	1_10
P1	N	10.01596	6.516775	8.178552	9.262562	10.85122	12.29922	10.23928	13.0256	11.127	11.60701
P2	N	25.00852	19.63774	22.97878	27.57152	28.48228	28.2383	25.85093	31.91153	25.56165	23.99047
$\Delta 1$	mm	0.4515	0.4515	0.4515	0.4515	0.4515	0.451475	0.4515	0.4515	0.4515	0.4515
$\Delta 2$	mm	1.1765	1.176475	1.176475	1.176475	1.1765	1.176475	1.1765	1.176475	1.1765	1.1765
$\varepsilon 1$		0.01806	0.01806	0.01806	0.01806	0.01806	0.018059	0.01806	0.01806	0.01806	0.01806
$\varepsilon 2$		0.04706	0.047059	0.047059	0.047059	0.04706	0.047059	0.04706	0.047059	0.04706	0.04706
I	mm4	1.917476	1.917476	1.917476	1.917476	1.917476	1.917476	1.917476	1.917476	1.917476	1.917476
L	mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
E	N/mm2	28085.14	24579.98	27725.81	34298.84	33027.77	29858.23	29244.87	35379.7	27040.03	23197.59
E AVG	N/mm2	29243.8									
STDEV		3291.629									
STDEV/AVG		11%									

Tabel 4. 2 Momen maksimum rata-rata

No. Benda Uji	P max	L	E	I	M max	σ maks
	N	mm	N/mm2	mm4	N.mm	N/mm2
1_1	34.41175	50	17662.169	1.917476	430.14688	280.41217
1_2	32.27631	50	11315.223	1.917476	403.45388	263.01104
1_3	36.85713	50	14137.654	1.917476	460.71413	300.33891
1_4	42.89071	50	18641.308	1.917476	536.13388	349.50495
1_5	43.35721	50	17790.786	1.917476	541.96513	353.30633
1_6	41.59848	50	15170.837	1.917476	519.981	338.97491
1_7	42.0181	50	12700.603	1.917476	525.22625	342.39428
1_8	45.72789	50	18829.969	1.917476	571.59863	372.62437
1_9	35.94239	50	11470.435	1.917476	449.27988	292.88494
1_10	33.79504	50	13278.69	1.917476	422.438	275.38676
Avg					486.09376	316.88387
Standar Deviasi						38.644664
Rasio standar deviasi terhadap rata-rata						12%

4.2.2 Benda uji tanah

Pada benda uji tanah dilakukan uji karakteristik untuk mengetahui parameter yakni uji sifat fisik, uji plastisitas, dan uji geser. Dari pengujian karakteristik tanah diketahui bahwa tanah tergolong jenis lempung dengan berat volume 1,354 gr/cc dan kadar air 100% seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.3. Data record uji parameter tanah dapat dilihat pada Lampiran 2.

Tabel 4. 3 Sifat fisik dan mekanis tanah kondisi undisturbed

Lokasi		Gedung Robotika ITS
Kedalaman Sampel		-1,00 m
Kedalaman MAT		0.00 m
Kondisi Cuaca		Hujan Sedang - Hujan Lebat
Waktu		November 2016
Berat/volume tanah γ_t	gr/cc	1.345
Berat/volume kering γ_d	gr/cc	0.668
Kadar air	%	1.014
Derajat Kejenuhan S_r	gr	0.942
Kadar Pori	%	0.732
Angka Pori e		2.766
Spesifik Gravity G_s		2.524
Batas cair LL	%	91.535
Batas Plastis PL	%	45.67627494
Indeks Plastisitas PI	%	45.859
Fraksi Lempung	%	73.59
Fraksi Lanau	%	20.42
Fraksi Pasir	%	5.99
Klasifikasi USCS		CH
Klasifikasi AASHTO		A-7 (Tanah Berlempung)

4.3 Pengujian Tahanan Geser Tanah

Setelah proses pengambilan tanah, dilakukan uji geser tanah maupun tanah-cerucuk dengan menggunakan alat *Direct Shear* yang telah dimodifikasi. Prosedur pengujian geser mengacu pada hasil penelitian Rusdiansyah (2015). Kegiatan pengujian geser dapat dilihat pada Gambar 4.6 s/d Gambar 4.9



Gambar 4. 6 Pemindahan sampel tanah dari kotak sampel ke kotak geser



Gambar 4. 7 Penancapan Cerucuk pada sampel tanah



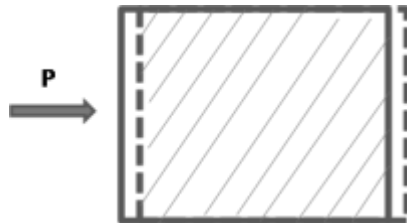
Gambar 4. 8 Sampel tanah yang telah dipasang cerucuk



Gambar 4. 9 Penggeseran sampel dengan *Direct Shear*

Pengujian geser menghasilkan nilai gaya maksimum yang dapat ditahan oleh tanah maupun setelah ditambahkan cerucuk. Nilai gaya maksimum ini disebut P_{max} . Pada saat pengujian, nilai P_{max} dapat diketahui saat *horizontal dial reading* pada alat geser menunjukkan angka konstan ataupun menurun. Nilai P_{max} yang ditunjukkan oleh dial reading masih dalam satuan unit, sehingga harus dikalikan dengan nilai kalibrasi dahulu untuk menentukan besarnya gaya dalam satuan kilogram. Nilai kalibrasi alat geser modifikasi untuk satu satuan unit adalah 2.3906 kgf. Tabel rekap data uji geser dilampirkan pada Lampiran 3.

Pengujian geser tidak hanya menghasilkan nilai P_{max} , namun juga nilai *Cohesi Undrained* atau C_u . Dengan menganggap sudut geser (θ) sama dengan nol, maka nilai tegangan geser (τ) yang terjadi sama dengan nilai C_u . Nilai tegangan geser diperoleh dari besarnya gaya yang telah dikalibrasi dibagi dengan luasan bidang geser yang telah terkoreksi. Ilustrasi tegangan geser yang terjadi akibat P dan bidang gesernya dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Gaya geser yang terjadi dan bidang gesernya

Hasil pengujian geser tanpa cerucuk dapat dilihat pada Tabel 4.4 yang menunjukkan nilai kohesi antara $0,053 \text{ kg/cm}^2$ sampai dengan $0,075 \text{ kg/cm}^2$. Kohesi dengan nilai sekian menunjukkan konsistensi tanah sangat lunak (*very soft*) yang memiliki taksiran harga kekuatan geser undrained (C_u) berkisar antara $0-0,125 \text{ ton/m}^2$.

Tabel 4. 4 Pmax dan τ yang terjadi pada sampel tanah

No	Sampel	Load Ring Dial Reading	Pmax	τ	Cu
		div	kgf	kg/cm2	kg/cm2
1	i	9.2	21.914	0.0753	0.0753021
2	ii	6.5	15.539	0.0540	0.0539545
3	iii	6.9	16.495	0.0573	0.0572748
4	iv	6.9	16.495	0.0567	0.0566843

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa penambahan cerucuk pada sampel tanah memiliki nilai P max yang lebih besar. Peningkatan P max berkisar rata-rata 34% dari gaya geser tanah maximum tanpa cerucuk. Nilai Pmax pada sampel tanah-cerucuk masih merepresentasikan besarnya gaya yang mampu ditahan oleh cerucuk dan tanah itu sendiri. Untuk mengetahui kemampuan 1 batang cerucuk dalam menerima gaya geser, nilai Pmax sampel tanah-cerucuk dikurangi dengan Pmax sampel tanah tanpa cerucuk kemudian dibagi dengan jumlah cerucuk yang ditancap. Nilai ini disebut ΔP 1 cerucuk. Perhitungan ΔP 1 cerucuk, dapat dilihat pada Tabel 4.6.

4.4 Perhitungan Rasio Plab/Panalitis

Plab merupakan besarnya gaya yang dapat ditahan oleh cerucuk berdasarkan uji geser di laboratorium atau bisa disebut sebagai ΔP 1 cerucuk. Besarnya Plab bergantung pada variasi perlakuan sampel tanah-cerucuk. Sedangkan Panalitis merupakan besarnya gaya geser yang mampu ditahan cerucuk yang didapat dari perhitungan menggunakan rumus NAFVAC DM-7. Nilai rasio Plab dengan Panalitis menunjukkan besarnya peningkatan tahanan geser tanah pada pengujian di Laboratorium akibat adanya variasi perlakuan cerucuk dibandingkan dengan perhitungan teori.

Tabel 4. 5 Pmax dan τ yang terjadi pada sampel variasi tanah-cerucuk

No	Sampel	Load Ring Dial Reading	Pmax	τ	Cu cerucuk
		div	kg	kg/cm2	kg/cm2
1	1x3.2.5.10D.22 (Spasi 10D I)	9.5	22.711	0.0797	0.079686667
2	1x3.2.5.10D.22 (Spasi 10D III)	9	21.515	0.0755	0.07549
3	1x3.2.5.15D.22 (Spasi 15D)	9.0	21.5	0.0763	0.07630
4	1x3.2.18D.27 (D2mm I)	9	21.515	0.0747	0.07471
5	1x3.2.18D.27 (D2mm II)	9	21.515	0.0747	0.07471
6	1x3.2.18D.27 (D2mm III)	9	21.515	0.0755	0.07549
7	1x3.2.5.15D.22 (D2,5mm)	9.5	22.711	0.0763	0.07630
8	1x3.2.5.10D.22 (L/D = 22)	9.5	22.711	0.0797	0.07969
9	1x3.2.5.10D.24 (L/D = 24 I)	10.2	24.384	0.0856	0.08556
10	1x3.2.5.10D.24 (L/D = 24 III)	9.2	21.994	0.0764	0.07637
11	1x3.2.5.10D.28 (L/D = 28)	11	26.297	0.0913	0.09131
12	1x2.2.5.10D.22 (Jumlah 1x2)	9	21.515	0.0763	0.07630
13	1x3.2.5.10D.22 (Jumlah 1x3)	9	21.515	0.0754926	0.07549
14	1x5.2.5.10D.22 (Jumlah 1x5 I)	11.2	26.775	0.0939	0.09395
15	1x5.2.5.10D.22 (Jumlah 1x5 II)	8	19.125	0.0693	0.06929
16	1x5.2.5.10D.22 (Jumlah 1x5 III)	10.9	26.058	0.0914	0.09143
17	2x3.2.5.10D.22 (Pola 2x3)	9.1	21.754	0.0771	0.07714
18	3x2.2.5.10D.22 (Pola 3x2)	7.7	18.408	0.0682	0.06818

Tabel 4. 6 ΔP 1 cerucuk

No	Sampel	Pmax	Pmax tanpa cerucuk	ΔP	Jumlah cerucuk	ΔP 1 cerucuk
		kg	kg	kg		kg
1	1x3.2.5.10D.22 (Spasi 10D I)	22.711	21.914	0.797	3	0.266
2	1x3.2.5.10D.22 (Spasi 10D III)	21.515	15.539	5.977	3	1.992
3	1x3.2.5.15D.22 (Spasi 15D)	21.5	16.495	5.020	3	1.673
4	1x3.2.18D.27 (D2mm I)	21.515	15.539	5.977	3	1.992
5	1x3.2.18D.27 (D2mm II)	21.515	15.539	5.977	3	1.992
6	1x3.2.18D.27 (D2mm III)	21.515	15.539	5.977	3	1.992
7	1x3.2.5.15D.22 (D2,5mm)	22.711	16.495	6.216	3	2.072
8	1x3.2.5.10D.22 (L/D = 22)	22.711	21.914	0.797	3	0.266
9	1x3.2.5.10D.24 (L/D = 24 I)	24.384	16.495	7.889	3	2.630
10	1x3.2.5.10D.24 (L/D = 24 III)	21.994	16.495	5.498	3	1.833
11	1x3.2.5.10D.28 (L/D = 28)	26.297	16.495	9.801	3	3.267
12	1x2.2.5.10D.22 (Jumlah 1x2)	21.515	16.495	5.020	2	2.510
13	1x3.2.5.10D.22 (Jumlah 1x3)	21.515	15.539	5.977	3	1.992
14	1x5.2.5.10D.22 (Jumlah 1x5 I)	26.775	16.495	10.280	5	2.056
15	1x5.2.5.10D.22 (Jumlah 1x5 II)	19.125	16.495	2.630	5	0.526
16	1x5.2.5.10D.22 (Jumlah 1x5 III)	26.058	16.495	9.562	5	1.912
17	2x3.2.5.10D.22 (Pola 2x3)	21.754	16.495	5.259	6	0.877
18	3x2.2.5.10D.22 (Pola 3x2)	18.408	16.495	1.912	6	0.319

Langkah-langkah perhitungan Panalitis

1. Menentukan nilai E atau modulus elastisitas bahan.
2. Menentukan momen inersia bahan (I). Untuk cerucuk berpenampang lingkaran, momen inersia dapat dihitung dengan rumus:

$$I = \frac{\pi}{64} (D)^4, \text{ dengan } D \text{ merupakan diameter penampang}$$

3. Menentukan nilai koefisien variasi modulus tanah atau f . Nilai f dapat dicari dengan Gambar 2.12 Grafik hubungan antara f dengan C_u
4. Menentukan nilai faktor kekakuan relative (T)

$$T = \left[\frac{EI}{f} \right]^{\frac{1}{5}}$$

Dimana:

E	= modulus elastisitas cerucuk, kg/cm^2
I	= momen inersia cerucuk, cm^4
f	= koefisien dari variasi modulus tanah, kg/cm^3
T	= faktor kekakuan relative, cm

5. Menentukan nilai momen lentur (Mp) yang bekerja pada cerucuk. Momen lentur ini biasa disebut momen *crack*. Nilai Mp diperoleh dari rumus:

$$Mp = \frac{\sigma \times I}{D/2}$$

Dimana :

σ	= tegangan lentur cerucuk (kg/cm^2)
I	= momen inersia (cm^4)
D	= Diameter (cm)

6. Menentukan nilai koefisien momen akibat gaya lateral P (Fm). Harga Fm ditentukan menggunakan Gambar 2.13 dengan terlebih dahulu merencanakan panjang cerucuk yang tertahan di bawah bidang gelincir (L). Dengan bantuan Gambar 2.13, harga L/T kemudian dipakai untuk menentukan harga Fm pada kedalaman Z.
7. Menghitung gaya horizontal yang diterima cerucuk, Panalitis.

$$P = \frac{M_p}{F_m \times T}$$

Dimana:

M_p = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban P, kg-cm

F_m = koefisien momen akibat gaya lateral P

P = gaya horizontal yang diterima cerucuk, kg

T = faktor kekakuan, cm

Contoh perhitungan

Sampel : 1x3.2,5.10D.22

Jenis perlakuan : Spasi 10D

Kohesi undrained, C_u : 0.054 kg/cm²

Jumlah cerucuk : 3 buah

L cerucuk dibawah bidang gelincir : 5,5 cm

Diameter cerucuk : 0.25 cm

1. Menentukan nilai E atau modulus elastisitas bahan.

Nilai E diperoleh dari hasil tes lentur yang disajikan dalam Tabel 4.1 sebesar 298406.08 kg/cm².

2. Menentukan momen inersia bahan (I).

$$I = \frac{\pi}{64} (D)^4$$

$$I = \frac{\pi}{64} (0.25)^4$$

$$I = 0.0001917 \text{ cm}^4$$

3. Menentukan nilai koefisien variasi modulus tanah atau f .

Diketahui nilai $C_u = 0.0540 \text{ kg/cm}^2$

$$q_u = 2C_u$$

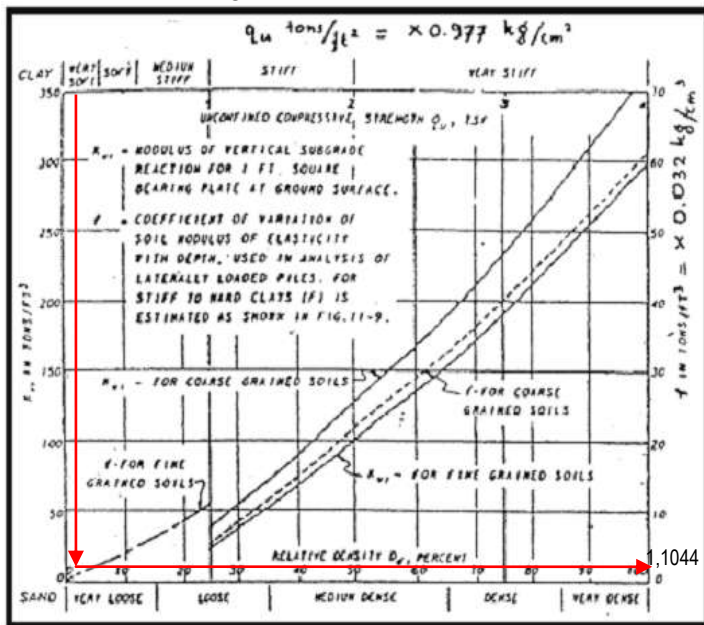
$$= 0.1079 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 0.1104 \text{ TSF}$$

Dengan menggunakan Gambar 2.12, diperoleh:

$$f = 1.104 \text{ tons/ft}^3$$

$$= 0.035 \text{ kg/cm}^3$$



4. Menentukan nilai faktor kekakuan relative (T)

$$T = \left[\frac{EI}{f} \right]^{\frac{1}{5}}$$

$$T = \left[\frac{298406.08 \times 0.0001917}{0.035} \right]^{\frac{1}{5}}$$

$$T = 4.384 \text{ cm}$$

5. Menentukan nilai momen lentur (M_p) yang bekerja pada cerucuk. Momen lentur ini biasa disebut momen *crack*. Nilai M_p diperoleh dari rumus:

$$M_p = \frac{\sigma \times I}{D/2} \quad \text{, dengan nilai } \sigma \text{ diperoleh dari hasil perhitungan Tabel 4.2}$$

$$M_p = \frac{3233.47 \times 0.0001917}{0.25/2}$$

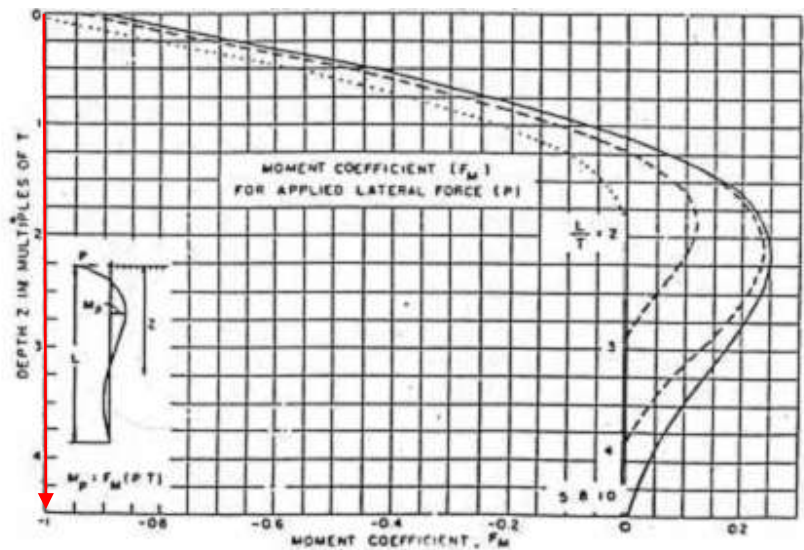
$$M_p = 4.96014 \text{ kg.cm}$$

6. Menentukan nilai koefisien momen akibat gaya lateral P (F_m).

$$\begin{aligned} L/T &= \frac{5.5}{4.384} \\ &= 1.341 \end{aligned}$$

$$Z = 0$$

Dengan menggunakan Gambar 2.13, maka diperoleh nilai $F_m = 1$



7. Menghitung gaya horizontal yang diterima cerucuk, Panalitis.

$$P = \frac{M_p}{F_m \times T}$$

$$P = \frac{1 \times 4.384}{1 \times 4.384}$$

$$Panalitis = 1.131 \text{ kg}$$

Setelah diketahui P analitis sebesar 1.131 kg, maka rasio Plab/Panalitis adalah:

$$\text{Rasio Plab/Panalitis} = 1.9922/1.131 = 1.761$$

Hasil perhitungan Panalitis dan rasio Plab/Panalitis untuk masing-masing perlakuan ditampilkan pada Tabel 4.7

Tabel 4. 7 (a) Perhitungan Panalitis dan rasionya

No.	Nama Sampel	Jumlah cerucuk	D	L	I	Cu	qu	qu	f
			cm	cm	cm4	kg/cm2	kg/cm2	TSF	kg/cm3
1	1x3,2,5.10D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0753	0.1506	0.1541	0.049
2	1x3,2,5.10D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0540	0.1079	0.1104	0.035
3	1x3,2,5.15D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0573	0.1145	0.1172	0.038
4	1x3,2.15D.22	3	0.2	5.5	0.0000785	0.0540	0.1079	0.1104	0.035
5	1x3,2.15D.22	3	0.2	5.5	0.0000785	0.0540	0.1079	0.1104	0.035
6	1x3,2.15D.22	3	0.2	5.5	0.0000785	0.0540	0.1079	0.1104	0.035
7	1x3,2,5.15D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0573	0.1145	0.1172	0.038
8	1x3,2,5.10D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0753	0.1506	0.1541	0.049
9	1x3,2,5.10D.24	3	0.25	6	0.0001917	0.0573	0.1145	0.1172	0.038
10	1x3,2,5.10D.24	3	0.25	6	0.0001917	0.0573	0.1145	0.1172	0.038
11	1x3,2,5.10D.28	3	0.25	7	0.0001917	0.0573	0.1145	0.1172	0.038
12	1x2,5.10D.22	2	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	0.037
13	1x3,2,5.10D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0540	0.1079	0.1104	0.035
14	1x5,2,5.10D.22	5	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	0.037
15	1x5,2,5.10D.22	5	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	0.037
16	1x5,2,5.10D.22	5	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	0.037
17	2x3,2,5.10D.22	6	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	0.037
18	3x2,2,5.10D.22	6	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	0.037

Tabel 4. 8 (b) Perhitungan Panalitis dan rasionya

No.	Nama Sampel	E	T	L/T	Fm	Mp	Panalitis	ΔPlab 1 cerucuk	Ratio
		kg/cm2	cm			kg.cm	kg	kg	Plab/Pan
1	1x3,2,5.10D.22	298406.08	4.101	1.341	1	4.960	1.209	0.2656	0.220
2	1x3,2,5.10D.22	298406.08	4.384	1.255	1	4.960	1.131	1.9922	1.761
3	1x3,2,5.15D.22	298406.08	4.332	1.270	1	4.960	1.145	1.6734	1.461
4	1x3,2.15D.22	298406.08	3.667	1.500	1	2.489	0.679	1.9922	2.935
5	1x3,2.15D.22	298406.08	3.667	1.500	1	2.489	0.679	1.9922	2.935
6	1x3,2.15D.22	298406.08	3.667	1.500	1	2.489	0.679	1.9922	2.935
7	1x3,2,5.15D.22	298406.08	4.332	1.270	1	4.960	1.145	2.0719	1.809
8	1x3,2,5.10D.22	298406.08	4.101	1.341	1	4.960	1.209	0.2656	0.220
9	1x3,2,5.10D.24	298406.08	4.332	1.385	1	4.960	1.145	2.6297	2.296
10	1x3,2,5.10D.24	298406.08	4.332	1.385	1	4.960	1.145	1.8328	1.601
11	1x3,2,5.10D.28	298406.08	4.332	1.616	1	4.960	1.145	3.2672	2.853
12	1x2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	2.5101	2.197
13	1x3,2,5.10D.22	298406.08	4.384	1.255	1	4.960	1.131	1.9922	1.761
14	1x5,2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	2.0559	1.799
15	1x5,2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	0.5259	0.460
16	1x5,2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	1.9125	1.674
17	2x3,2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	0.8766	0.767
18	3x2,2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	0.3187	0.279

BAB V

ANALISA DATA

5.1 Pengaruh Jarak Pemasangan Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

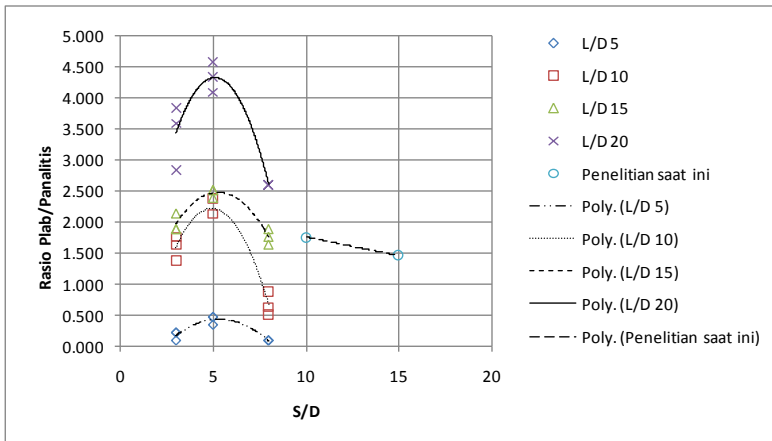
Jarak pemasangan cerucuk yang digunakan pada penelitian adalah 10 kali diameter (10D) dan 15 kali diameter (15D). Dengan diameter sebesar 2.5 mm maka jarak 10D sama dengan 25 mm dan 15D sama dengan 37.5 mm. Hasil penelitian menghasilkan nilai gaya geser yang mampu di tahan oleh cerucuk (ΔP 1 cerucuk) menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan perhitungan teoritis (Panalitis 1 cerucuk). Hal ini ditunjukkan oleh nilai rasio Plab/Panalitis pada Tabel 5.1 yang memiliki nilai lebih dari satu.

Tabel 5. 1 Rasio Plab/Panalitis Variasi Spasi Cerucuk

Nama Sampel	S/D	Panalitis 1 cerucuk (kg)	ΔP lab 1 cerucuk (kg)	Ratio (Plab/Pan)
1x3.2,5.10D.22	10	1.131	1.992	1.761
1x3.2,5.15D.22	15	1.145	1.673	1.461

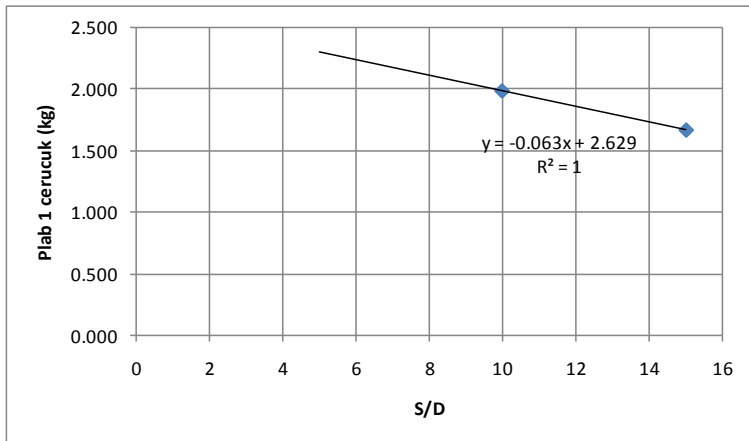
Rasio Plab/Panalitis pada Tabel 5.1 kemudian diplotkan menjadi grafik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.1. Karena penelitian ini merupakan penelitian tambahan untuk melengkapi penelitian sebelumnya (Rusdiansyah, 2015), semua grafik akan digabungkan dengan grafik hasil penelitian Rusdiansyah 2015. Grafik 5.1 menunjukkan hasil pola yang sama dengan penelitian sebelumnya yakni pola menurun pada nilai rasio spasi dengan diameter (S/D) lebih dari 5. Nilai rasio Plab/Panalitis pada S/D sama dengan 10 memiliki nilai yang lebih besar yakni 1.761 dibandingkan dengan nilai S/D sama dengan 15 yakni sebesar

1.461. Hal ini disebabkan karena semakin besar spasi atau semakin renggang pemasangan cerucuk, maka cerucuk akan berperilaku sebagai tiang tunggal yang tidak terikat oleh sesamanya. Kondisi ini mengakibatkan semua gaya yang terjadi akan dipikul oleh satu cerucuk itu sendiri, bukan dibagi rata dengan cerucuk yang lain.



Gambar 5. 1 Rasio Plab/Panalitis gabungan untuk Variasi Spasi Cerucuk

Pada penelitian sebelumnya untuk mencari perumusan cerucuk akibat spasi pemasangan cerucuk, setiap nilai Plab 1 cerucuk pada masing-masing spasi akan dibagi dengan nilai Plab 1 cerucuk untuk S/D sama dengan 5. Hal ini juga berlaku pada penelitian saat ini. Karena pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian untuk S/D sama dengan 5 maka dilakukan regresi linier untuk menentukan nilai S/D sama dengan 5 dari data Plab 1 cerucuk untuk S/D sama dengan 10 dan S/D sama dengan 15 seperti ditunjukkan pada Gambar 5.2.

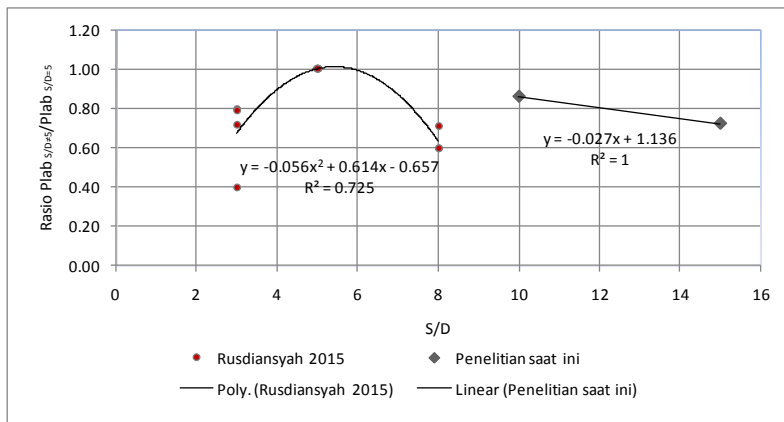


Gambar 5. 2 Regresi Linier Plab 1 cerucuk pada variasi jarak

Hasil regresi pada Gambr 5.2 menghasilkan persamaan $y = -0.063x + 2.629$, sehingga dapat dihitung nilai Plab 1 cerucuk untuk spasi S/D sama dengan 5 yakni sebesar 2.314. Setelah itu dilakukan perhitungan untuk rasio Plab S/D tidak sama dengan 5 dengan Plab S/D sama dengan 5 ($\text{Plab}_{S/D=5}/\text{Plab}_{S/D \neq 5}$) seperti ditunjukkan pada Tabel 5.2. Nilai rasio $\text{Plab}_{S/D=5}/\text{Plab}_{S/D \neq 5}$ kemudian diplotkan pada grafik untuk memperoleh perumusan pengaruh tahanan geser tanah akibat spasi cerucuk (Gambar 5.3), sedangkan nilai Plab/Panalitis pada S/D sama dengan 5 yang bernilai 2.021 adalah koefisien pengali tambahan untuk persamaan pengaruh spasi penancapan cerucuk yang nantinya akan digabung dengan koefisien pengali dari penelitian sebelumnya kemudian dirata – rata.

Tabel 5. 2 Rasio $\text{Plab}_{S/D \neq 5} / \text{Plab}_{S/D=5}$ dan Koefisien pengali untuk variasi spasi cerucuk

Nama Sampel	S/D	Panalatis 1 cerucuk (kg)	ΔP lab 1 cerucuk (kg)	$\text{Plab}_{S/D \neq 5} / \text{Plab}_{S/D=5}$	Plab/Pan
	5	1.145	2.314	1.000	2.021
1x3.2.5.10D.22	10	1.131	1.992	0.861	
1x3.2.5.15D.22	15	1.145	1.673	0.723	

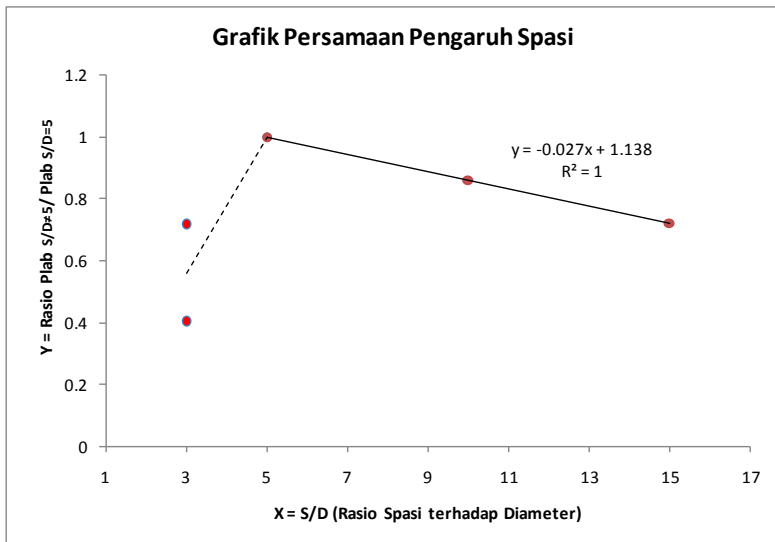


Gambar 5. 3 Rasio $\text{Plab}_{S/D=5} / \text{Plab}_{S/D \neq 5}$ gabungan untuk Variasi Spasi Cerucuk

Karena penelitian ini merupakan satu kesatuan dari penelitian sebelumnya, grafik yang dihasilkan pun harus terhubung dengan penelitian sebelumnya. Sehingga dilakukan regresi ulang untuk data – data dari penelitian sebelumnya dan penelitian saat ini untuk memperoleh persamaan baru. Hasil regresi baru ditunjukkan oleh Gambar 5.4 dengan mempertahankan nilai optimum sebesar 1.000 pada S/D sama dengan 5 seperti pada penelitian sebelumnya. Untuk nilai S/D kurang dari 5 ditetapkan sebagai fungsi linier yang menurun dengan persamaan $Y_s = 0.220(X_s) - 0.101$ dan untuk nilai S/D lebih dari 5 ditetapkan

persamaan linier menurun pula dengan persamaan $Y_s = -0.027(X_s) + 1.138$.

Pada grafik persamaan pengaruh spasi, puncak grafik terjadi pada S/D sama dengan 5. Hal ini membuktikan bahwa tidak selamanya peningkatan spasi cerucuk akan meningkatkan tahanan geser tanah. Pada nilai S/D kurang dari 5, tahanan geser tanah menurun jika S/D kecil. Karena pada jarak yang terlalu sempit, efisiensi tiang dalam menerima gaya geser akan semakin kecil. Sebaliknya pada nilai S/D lebih dari 5 mengalami penurunan grafik untuk nilai S/D yang lebih besar. Hal ini diakibatkan karena semakin renggang pemasangan, kelompok tiang cerucuk berperilaku sebagai tiang-tiang tunggal sehingga tahanan tanah yang terjadi pun semakin mengecil.



Gambar 5. 4 Perumusan persamaan variasi jarak pemasangan cerucuk

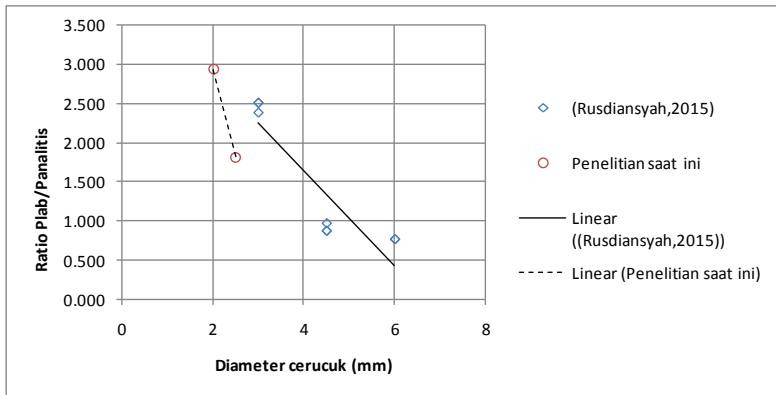
5.2 Pengaruh Diameter Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Diameter yang digunakan pada penelitian ini adalah diameter 2 mm dan 2,5 mm dengan jarak pemasangan 15D dan rasio panjang tancap terhadap diameter (L/D) adalah 22. Pada Tabel 5.3 menunjukkan nilai rasio Plab/Panalitis pada diameter 2.5 mm lebih besar yakni 1.809 dibandingkan dengan diameter 2 mm yang memiliki nilai rasio Plab/Panalitis sebesar 1.809. Rasio Plab/Panalitis yang diplotkan pada Gambar 5.5 menunjukkan pola yang sama dengan penelitian Rusdiansyah (2015). Pola menunjukkan penurunan nilai Plab/Panalitis, hal ini dikarenakan nilai Plab yang mengalami peningkatan tidak seberapa signifikan dibandingkan dengan nilai Panalitis yang mengalami peningkatan signifikan pada diameter yang lebih besar sehingga rasio Plab/Panalitis mengalami penurunan.

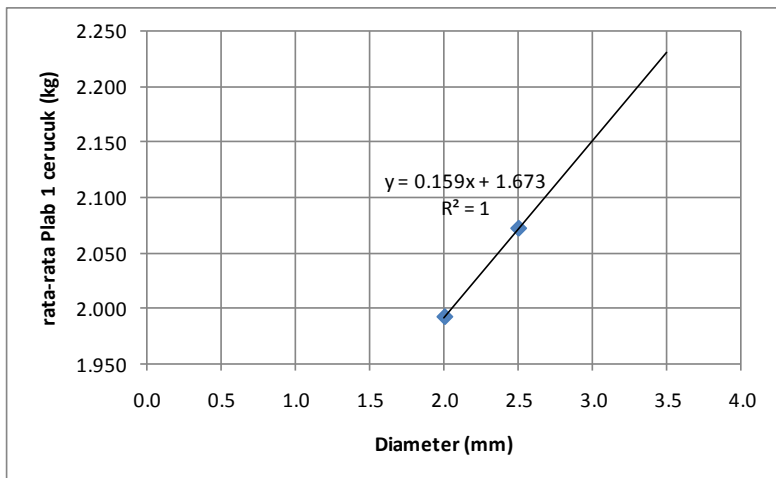
Tabel 5. 3 Rasio Plab/Panalitis Variasi Diameter

Nama Sampel	D mm	Panalitis 1 cerucuk (kg)	ΔP lab 1 cerucuk (kg)	Ratio (Plab/Pan)
1x3.2.15D.22	2	0.679	1.992	2.935
1x3.2.15D.22	2	0.679	1.992	2.935
1x3.2.15D.22	2	0.679	1.992	2.935
1x3.2,5.15D.22	2.5	1.145	2.072	1.809

Pembagi masing-masing Plab pada variasi diameter untuk menentukan perumusan persamaan akibat diameter cerucuk adalah Plab pada diameter sama dengan 3 mm. Sehingga dilakukan regresi linier pada Plab berdiameter 2 mm dan 2.5 mm. hasil regresi pada Gambar 5.6 menghasilkan persamaan $y = 0.159x + 1.673$ sehingga nilai Plab 1 cerucuk pada diameter 3 mm adalah 2.150 kg. Setelah diketahui harga Plab 1 cerucuk untuk diameter 3 mm, dihitung rasio $\text{Plab}_{D \neq 3\text{mm}} / \text{Plab}_{D=3\text{mm}}$ yang ditunjukkan oleh Tabel 5.4.



Gambar 5. 5 Rasio Plab/Panalitis untuk variasi diameter

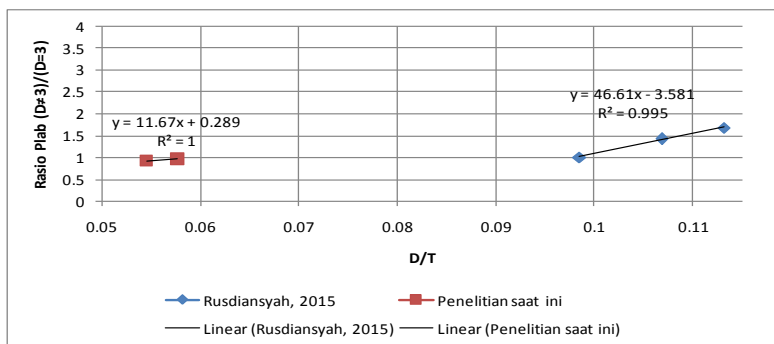


Gambar 5. 6 Regresi nilai Plab 1 cerucuk untuk Diameter 3.5 mm

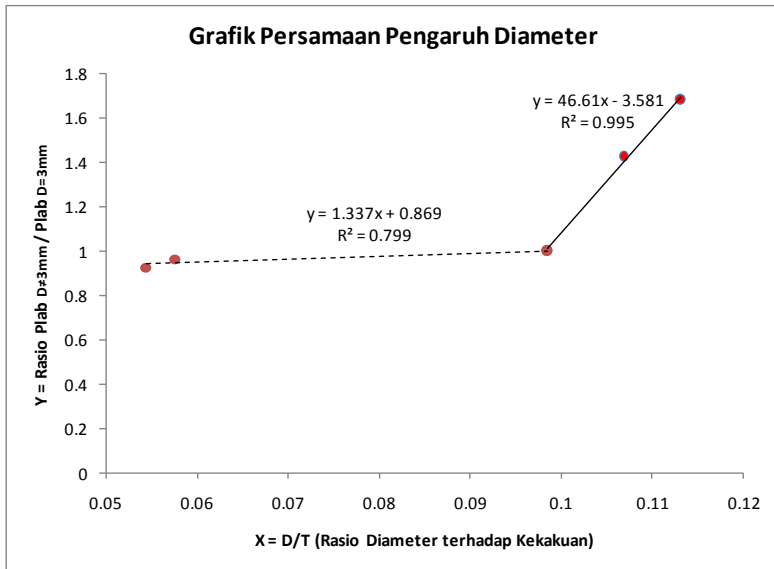
Tabel 5. 4 Rasio $\text{Plab}_{D \neq 3\text{mm}}/\text{Plab}_{D=3\text{mm}}$ dan Koefisien pengali untuk diameter cerucuk

D mm	Panalitis 1 cerucuk (kg)	ΔP lab 1 cerucuk (kg)	Plab rata-rata	Plab $D \neq 3/\text{Plab} = 3$	Panalitis rata-rata	Plab/Panalitis
2	0.679	1.992	1.992	0.927	0.679	1.283
2	0.679	1.992				
2	0.679	1.992				
2.5	1.145	2.072	2.072	0.964	1.145	
3	1.676	2.150	2.150	1.000	1.676	

Pada tabel 5.4 juga dihitung nilai koefisien pengali untuk persamaan diameter cerucuk yaitu sebesar 1.283. Grafik gabungan diameter cerucuk ditunjukkan pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 menunjukkan persamaan yang didapat dari rasio $\text{Plab}_{D \neq 3\text{mm}}/\text{Plab}_{D=3\text{mm}}$, $Y_d = 1.337(X_d) + 0.869$ untuk nilai D/T kurang dari 0.098. Nilai rasio yang semakin menurun dengan D/T yang semakin kecil menunjukkan bahwa semakin kecil diameter maka kekakuan bahan cerucuk juga akan semakin menurun sehingga gaya geser yang mampu diterima juga semakin kecil. Namun pada nilai D/T kurang dari 0.098, nilai koreksi tahanan geser tanah seluruhnya hampir mendekati 1, hal ini menunjukkan bahwa nilai D/T yang kecil (kurang dari 0.098) pengaruhnya tidak begitu besar pada tahanan geser tanah.



Gambar 5. 7 Rasio $\text{Plab}_{D \neq 3\text{mm}}/\text{Plab}_{D=3\text{mm}}$ gabungan untuk Variasi Diameter Cerucuk



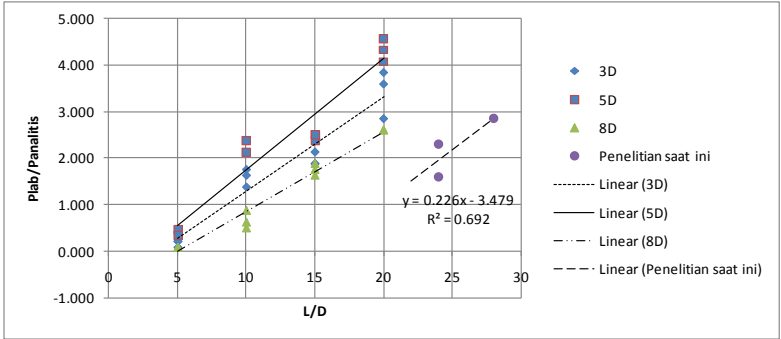
Gambar 5. 8 Perumusan persamaan variasi diameter cerucuk

5.3 Pengaruh Panjang Tancap Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Tabel 5.5 menunjukkan nilai Plab/Panalitis untuk rasio panjang tancap cerucuk terhadap diameter. L/D yang digunakan adalah 22, 24, dan 28. Jika diameter yang digunakan adalah 2.5 mm maka panjang tancap berturut-turut adalah 55mm, 60 mm, dan 70 mm. Rasio Plab/Panalitis menunjukkan nilai yang meningkat, hal ini juga ditunjukkan pada Gambar 5.9 yang memiliki pola grafik meningkat seiring dengan nilai panjang tancap. Grafik juga menunjukkan pola yang sama dengan penelitian sebelumnya.

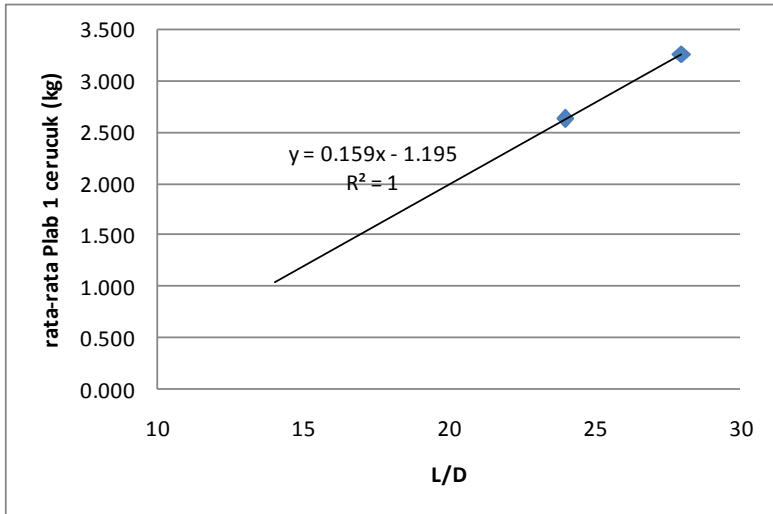
Tabel 5. 5 Rasio Plab/Panalitis untuk variasi Rasio panjang tancap terhadap diameter

Nama Sampel	L/D	Panalatis 1 cerucuk (kg)	ΔP lab 1 cerucuk (kg)	Ratio (Plab/Pan)
1x3.2,5.10D.22	22	1.209	0.266	0.220
1x3.2,5.10D.24	24	1.145	2.630	2.296
1x3.2,5.10D.24	24	1.145	1.833	1.601
1x3.2,5.10D.28	28	1.145	3.267	2.853



Gambar 5. 9 Rasio Plab/Panalitis untuk variasi Rasio panjang tancap

Pada penelitian sebelumnya ditentukan Plab 1 cerucuk pembagi adalah Plab untuk $L/D=15$. Sehingga perlu dilakukan regresi dengan menggunakan data Plab $L/D= 24$ dan Plab $L/D=28$. Hasil regresi ditunjukkan pada Gambar 5.10 yang menghasilkan persamaan $y = 0.159x-1.195$, dengan memasukkan nilai $x=15$ maka diperoleh nilai Plab 1 cerucuk untuk $L/D= 15$ adalah sebesar 1.190 kg. Nilai ini kemudian dijadikan pembagi untuk nilai masing-masing Plab variasi L/D . Hasil pembagian Plab L/D tidak sama dengan 15 dengan L/D sama dengan 15 dapat dilihat pada Tabel 5.6. Tabel 5.6 juga menunjukkan nilai koefisien pengali sebesar 1.039.

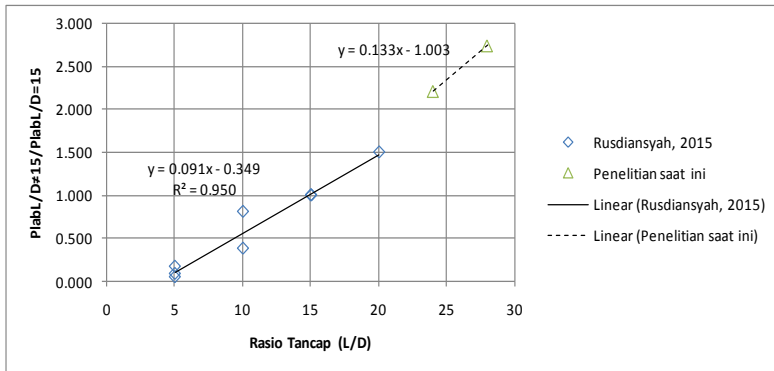


Gambar 5. 10 Regresi untuk menentukan Plab L/D=15

Grafik gabungan yang menunjukkan rasio $\text{Plab}_{L/D \neq 15} / \text{Plab}_{L/D=15}$ ditunjukkan oleh Gambar 5.11. Grafik penelitian saat ini memiliki pola yang sama dengan penelitian sebelumnya yakni rasio $\text{Plab}_{L/D \neq 15} / \text{Plab}_{L/D=15}$ mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya nilai L/D. Hal ini menunjukkan bahwa semakin panjang penancangan cerucuk dibawah garis kelongsoran, defleksi yang terjadi semakin kecil sehingga kekuatan cerucuk untuk menerima gaya geser lebih besar.

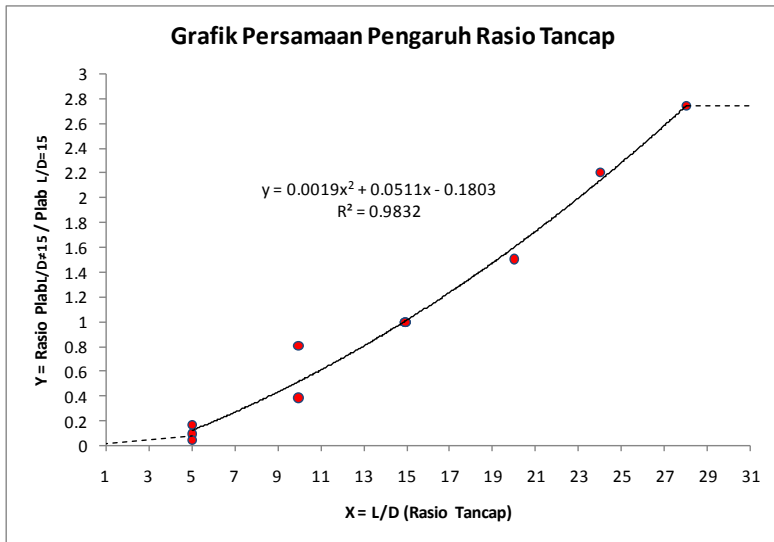
Tabel 5. 6 Rasio $\text{Plab}_{L/D \neq 15} / \text{Plab}_{L/D=15}$

L/D	Panalatis 1 cerucuk (kg)	Plab rata-rata	PlabL/D≠15/ PlabL/D=15	Panalitis rata-rata	Plab/Pan
22	1.209	0.266	0.223	1.209	
24	1.145	2.231	1.875	1.145	
24	1.145				
28	1.145	3.267	2.746	1.145	
15	1.145	1.190	1.000	1.145	1.039



Gambar 5. 11 Rasio $Plab_{L/D \neq 15} / Plab_{L/D=15}$ gabungan untuk Variasi Panjang tancap Cerucuk

Gambar 5.11 belum menghubungkan hasil penelitian saat ini dan penelitian sebelumnya sehingga perlu dilakukan penyambungan grafik yang akan memunculkan persamaan baru. Hasil persamaan yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 5.12. Persamaan baru yang diperoleh setelah dilakukan regresi ulang adalah $Y_t = 0.0019(X_t)^2 + 0.0511(X_t) - 0.1803$ dan untuk nilai Y_t lebih dari 28, tahanan geser tanah dianggap konstan.



Gambar 5. 12 Perumusan persamaan variasi rasio panjang tancap cerucuk

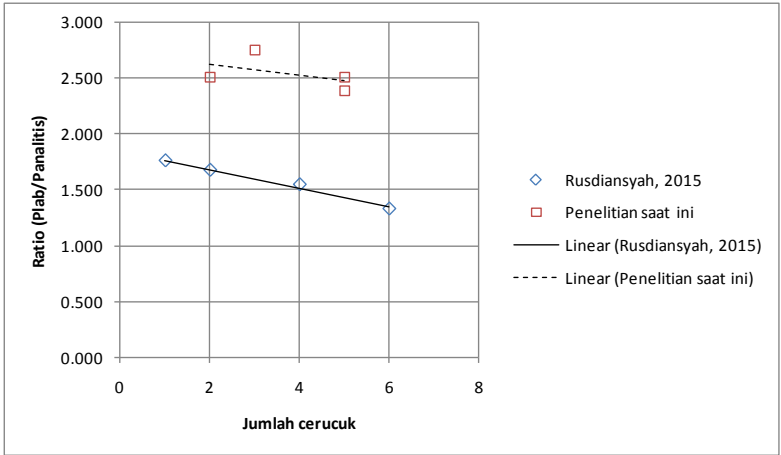
5.4 Pengaruh Jumlah Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Tabel 5.7 menunjukkan rasio Plab/Panalitis untuk variasi jumlah cerucuk. Jumlah cerucuk yang lebih sedikit menghasilkan nilai Plab/Panalitis yang besar seperti pada jumlah cerucuk 2 buah menghasilkan rasio Plab/Panalitis sebesar 2.197 lebih besar dibandingkan dengan jumlah cerucuk 5 buah yang menghasilkan rasio Plab/Panalitis sebesar 1.674. Hal yang sama ditunjukkan oleh Gambar 5.13 yang memperlihatkan grafik yang mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah cerucuk. Pola yang sama juga ditunjukkan pada penelitian sebelumnya yakni nilai Plab/Panalitis menurun seiring dengan bertambahnya jumlah cerucuk. Nilai Plab/Panalitis yang menurun menandakan bahwa semakin banyak jumlah cerucuk yang dipasang, maka kontribusi

1 cerucuk dalam satu grup untuk menahan gaya geser akan semakin kecil.

Tabel 5. 7 Rasio Plab/Panalitis untuk variasi jumlah cerucuk

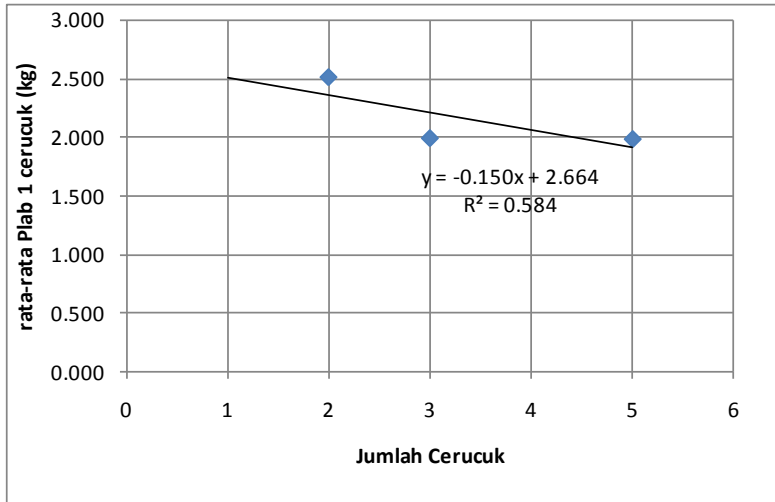
Nama Sampel	n	Panalatis 1 cerucuk (kg)	ΔP lab 1 cerucuk (kg)	Ratio (Plab/Panalitis)
1x2.2,5.10D.22	2	1.143	2.510	2.197
1x3.2,5.10D.22	3	1.131	1.992	1.761
1x5.2,5.10D.22	5	1.143	2.056	1.799
1x5.2,5.10D.22	5	1.143	0.526	0.460
1x5.2,5.10D.22	5	1.143	1.912	1.674



Gambar 5. 13 Rasio Plab/Panalitis untuk variasi jumlah cerucuk

Gambar 5.14 menunjukkan regresi linier untuk mendapatkan Plab pembagi untuk jumlah cerucuk sama dengan 1. Dari Gambar 5.14 diperoleh persamaan $y = -0.150x + 2.664$ dengan nilai $x = 1$ maka diperoleh Plab sama dengan 2.514 kg. Perhitungan rasio Plab untuk jumlah cerucuk tidak sama dengan 1

dengan Plab untuk cerucuk berjumlah 1 dan hasil koefisien pengali dapat dilihat pada Tabel 5.8



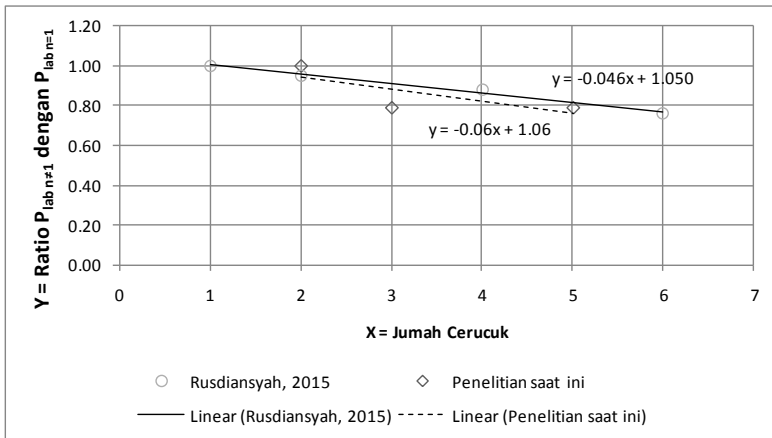
Gambar 5. 14 Regresi linier untuk menentukan Plab pada jumlah cerucuk = 1

Tabel 5. 8 Rasio $Plab_{n \neq 1} / Plab_{n=1}$

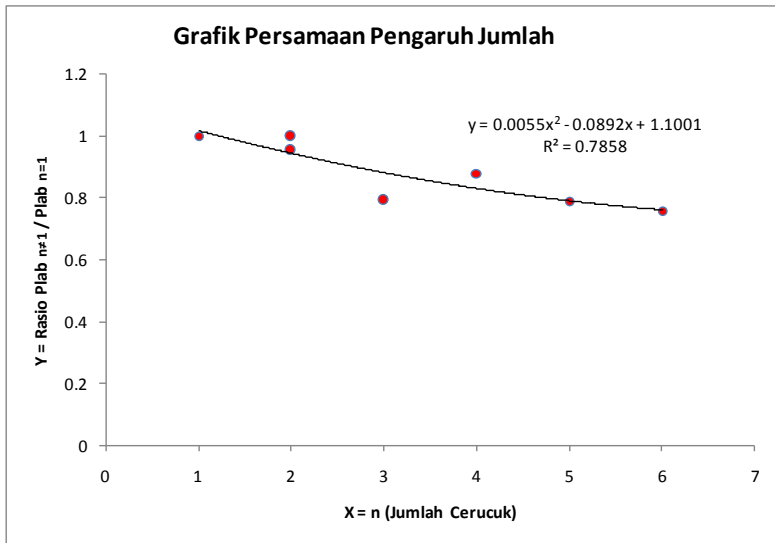
n	Panalatis 1 cerucuk (kg)	ΔP lab 1 cerucuk (kg)	Plab rata-rata	Plab n≠1/Plab n=1	Panalitis rata- rata	Plab/Pan
2	1.143	2.510	2.510	0.998	1.143	
3	1.131	1.992	1.992	0.792	1.131	
5	1.143	2.056	1.498	0.596	1.143	
5	1.143	0.526				
5	1.143	1.912				
1	1.143	2.514	2.514	1.000	1.143	2.200

Penggabungan grafik hasil penelitian saat ini dan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 5.15. Antara grafik penelitian saat ini dan penelitian sebelumnya memperlihatkan pola yang sama dan relativ berhimpit satu

dengan yang lainnya sehingga bisa dikatakan bahwa penelitian saat ini memiliki kesamaan dengan penelitian sebelumnya. Untuk memperoleh persamaan dilakukan regresi ulang terhadap dua grafik tersebut. Hasil regresi ulang dapat dilihat pada Gambar 5.16 dengan persamaan $Y_n = 0.0055(X_n)^2 + 0.0892(X_n) + 1.1001$.



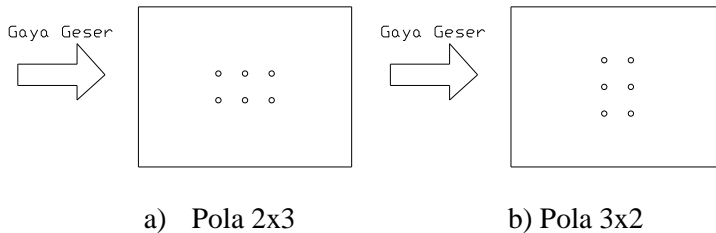
Gambar 5. 15 Rasio $Plab_{n=1}/Plab_{n=1}$ gabungan untuk variasi jumlah cerucuk



Gambar 5. 16 Perumusan persamaan variasi jumlah cerucuk

5.5 Pengaruh Pola Pemasangan Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Perlakuan pola pemasangan pada benda uji ditujukan untuk mengetahui pola yang efektif dalam menerima gaya geser tanah. Variasi pola pemasangan penelitian saat ini masih sama dengan penelitian sebelumnya yakni pola 2x3 dan 3x2. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya adalah diameter yang lebih kecil yaitu 2.5 mm, spasi antar cerucuk yang lebih besar yaitu 10 kali diameter, dan panjang tancap yang lebih besar (L/D) sama dengan 22. Arah gaya geser diilustrasikan pada Gambar 5.17.

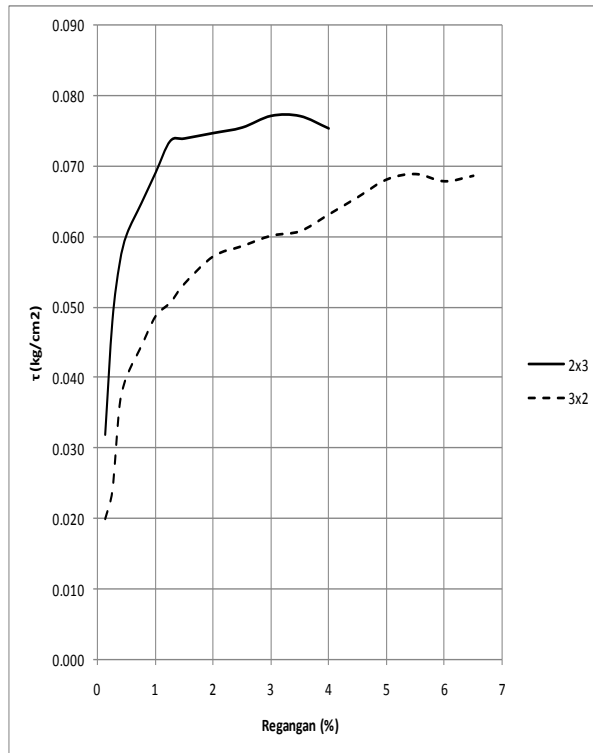


Gambar 5. 17 Pola Pemasangan terhadap arah gaya geser

Pada Tabel 5.9 dapat diketahui bahwa pola pemasangan 2x3 mampu menahan gaya geser lebih besar yakni 0.877 kg untuk satu cerucuk dibandingkan dengan pola 3x2 yang hanya menerima gaya geser 0.319 untuk satu cerucuk. Hal ini mengindikasikan bahwa penempatan jumlah cerucuk lebih banyak pada arah sejajar gaya geser akan meningkatkan tahanan tanah lebih maksimal dibanding dengan pemasangan arah tegak lurus gaya geser tanah. Gambar 5.18 menunjukkan grafik tegangan regangan pola pemasangan 2x3 dan 3x2. Pada Gambar 5.18 dapat disimpulkan bahwa pada regangan yang sama nilai tegangan geser yang mampu dipikul oleh pola 2x3 lebih besar dibandingkan dengan pola 3x2.

Tabel 5. 9 Rasio Plab/Panalitis pada variasi pola pemasangan cerucuk

No.	Nama Sampel	Pola Pemasangan	Panalitis 1 cerucuk (kg)	Δ Plab 1 cerucuk (kg)	Rasio Plab/Panalitis
1	2x3.2.5.10D.22	2x3	1.143	0.877	0.767
2	3x2.2.5.10D.22	3x2	1.143	0.319	0.279



Gambar 5. 18 Grafik tegangan regangan pola pemasangan 2x3 dan 3x2

5.6 Usulan Model Persamaan pada Rumus Cerucuk 2015

Berdasarkan hasil analisa perhitungan persamaan koreksi pada sub-sub bab sebelumnya maka Persamaan Cerucuk 2015 perlu di lengkapi menjadi persamaan model baru untuk mengetahui tahanan geser tanah pada stabilitas lereng yang mendekati kondisi sebenarnya pada lapangan. Faktor koefisien pengali didapatkan dari perhitungan Plab/Panalitis rata-rata dari setiap variasi perlakuan. Koefisien pengali ini merepresentasikan nilai pembesaran terhadap perhitungan secara analitis. Tabel 5.10

menunjukkan nilai rekap dari koefisien pengali dan perumusan persamaan gabungan dengan penelitian sebelumnya untuk setiap variasi perlakuan didapat dari kurva hubungan rasio $Plab_{\text{=}}/Plab_{\text{≠}}$.

Tabel 5. 10 Rekap Koefisien Pengali dan Usulan Persamaan untuk setiap Variasi Perlakuan

Variasi Cerucuk	Pivot	Plab / Panalitis	Rata-rata Plab / Panalitis	FORMULA REGRESI	
Variasi Rasio Tancap	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 15	1.965	2.095	$X_t < 28, Y_t = 0.001(X_t^2) + 0.051(X_t) - 0.180$ $X_t \geq 28, Y_t = 2.745$	dimana : $Y_t = \text{Ratio Plab } L/D \neq 15$ dengan Plab $L/D=15$ $X_t = \text{Ratio Tancap } (L/D)$
	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 15	2.467			
	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 15	1.756			
	Penelitian saat ini	1.039			
Variasi Spasi	Ratio Tancap L/D 5-Spasi 5D	0.422		$X_s < 5, Y_s = 0.220(X_s) - 0.101$ $X_s = 5, Y_s = 1$ $X_s > 5, Y_s = -0.027(X_s) + 1.138$	dimana : $Y_s = \text{Ratio Plab } S \neq 5D$ dengan Plab $S=5D$ $X_s = \text{Spasi } (S/D)$
	Ratio Tancap L/D 10-Spasi 5D	2.216			
	Ratio Tancap L/D 15-Spasi 5D	2.467			
	Ratio Tancap L/D 20-Spasi 5D	4.336			
	Penelitian saat ini	2.021			
Variasi Jumlah (Sejajar)	1 bgt-Spasi 5D Ratio Tancap L/D 15	2.590		$Y_n = 0.0055(X_n^2) - 0.0892(X_n) + 1.1001$	dimana : $Y_n = \text{Ratio Plab } n \neq 1$ dengan Plab $n=1$ $X_n = \text{Jumlah Cerucuk}$
	Penelitian saat ini	2.200			
Variasi Diameter	3mm-1 bgt-Spasi 5D Ratio Tancap L/D 15	2.467		$X_d < 0.098, Y_d = 1.337(X_d) + 0.869$ $X_d = 0.098, Y_d = 1$ $X_d > 0.098, Y_d = 46.61(X_d) - 3.581$	dimana : $Y_d = \text{Ratio Plab } D \neq 3\text{mm}$ dengan Plab $D=3\text{mm}$ $X_d = \text{ratio } D/T$ $D = \text{Diameter (cm)}$ $T = \text{Faktor Kekakuan Relatif (cm)}$ $T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{3}}$
	Penelitian saat ini	1.283			

Sehingga model persamaan peningkatan tahanan geser tanah akibat adanya cerucuk oleh Rusdiansyah (2015) menjadi:

$$P_{\max (1 \text{ cerucuk })} = \frac{M p_{\max (1 \text{ cerucuk })}}{f_m \times T} \times F k g$$

Dimana:

$$F k g = 2.095 * Y_t * Y_d * Y_s * Y_n$$

Fkg = faktor koreksi gabungan

Yt = persamaan pengaruh rasio tancap (Tabel 5.10)

Xt = rasio tancap (L/D)

Yd = persamaan pengaruh diameter cerucuk (Tabel 5.10)

Xd = rasio D/T

Ys = persamaan pengaruh spasi antar cerucuk (Tabel 5.10)

Xs = spasi (S/D)

Yn = persamaan pengaruh jumlah cerucuk (Tabel 5.10)

Xn = jumlah cerucuk

$P_{\max 1 \text{ cerucuk}}$ = gaya horizontal maksimum yang diterima cerucuk (kg)

Mpmax = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat P (kg.cm)

Fm = koefisien momen akibat gaya lateral P (dari kurva NAVFAC DM-7)

- T = Faktor kekakuan relative (cm) dari kurva NAVFAC DM-7
- D = diameter cerucuk (cm)
- E = modulus elastisitas tiang (kg/cm^2)
- I = momen inersia tiang (cm^4)
- f = koefisien dari variasi modulus tanah (kg/cm^3)

Hasil dari perhitungan faktor koreksi atau Fkg pada penggunaan harus dibagi dengan SF sebesar 1,05 sebelum dikalikan dengan Pmax 1 cerucuk (Rusdiansyah, 2015). Hal ini dilakukan untuk memberikan faktor keamanan bagi rumus itu sendiri. Namun faktor keamanan pada perhitungan perkuatan tebing tetap harus disertakan sesuai dengan kondisi beban exsisting. Yakni:

SF = 2,0 (untuk *muatan sementara* dari bangunan yang relatif kaku seperti gedung, bangunan beton dan bata)

SF = 3,0 (untuk *muatan tetap* dari bangunan yang relatif kaku seperti gedung, bangunan beton dan bata)

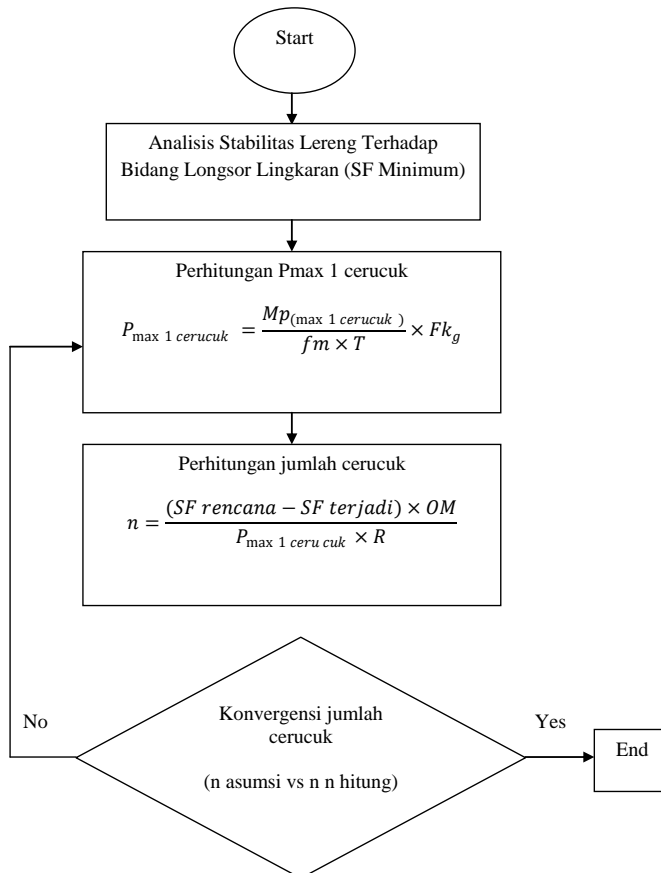
SF = 1,1 (untuk *muatan sementara* dari bangunan agak fleksibel seperti embankment jalan dan tanggul tanah)

SF = 1,5 (untuk *muatan tetap* dari bangunan agak fleksibel seperti embankment jalan dan tanggul tanah)

5.7 Penerapan Perumusan pada Studi Kasus

Model persamaan yang didapat dari penelitian saat ini kemudian disebut Rumus Cerucuk 2015 revise 2017. Untuk menguji validitas perumusan, maka perlu dilakukan penerapan pada studi kasus. Jika hasil dari perumusan ini menunjukkan nilai

yang lebih aman dan besaran nilai mendekati nilai yang dihasilkan oleh metode lain, maka perumusan bisa dikatakan valid. Metode lain yang digunakan adalah Rumus NAVFAC DM-7, Rumus Arya dan Mochtar (2002), dan metode numeric melalui GeoSlope 2007.

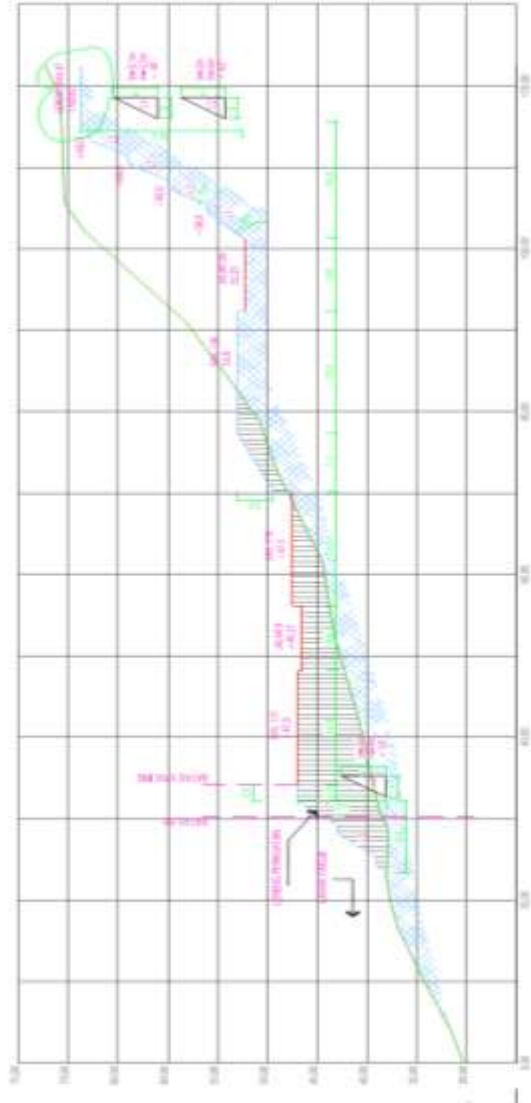


Gambar 5. 19 Bagan Alir Perhitungan Rumus Cerucuk 2015 Revise 2017

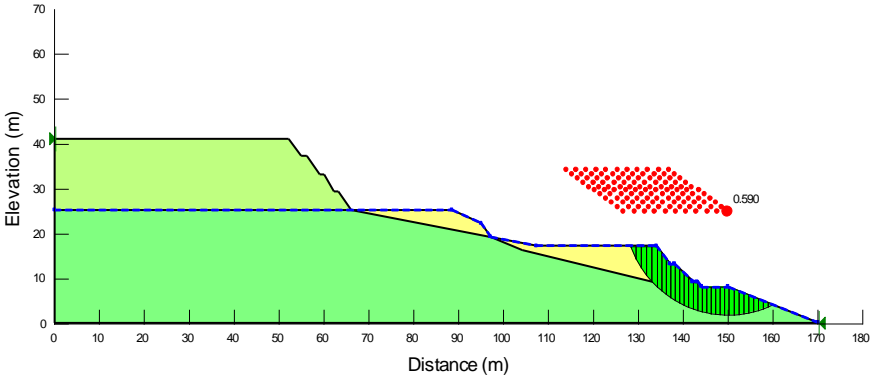
Tahap awal dalam perhitungan untuk memperoleh jumlah cerucuk pada kasus lapangan adalah menganalisa stabilitas lereng untuk mencari nilai faktor keamanan paling kritis. Kemudian dilakukan perhitungan menggunakan Rumus Cerucuk yang telah direvisi untuk menentukan gaya geser maksimum yang dapat dipikul oleh satu batang cerucuk atau $P_{max\ 1\ cerucuk}$. Jika nilai $P_{max\ 1\ cerucuk}$ telah diketahui, dapat dicari jumlah cerucuk yang dibutuhkan. Jumlah cerucuk hasil perhitungan ini bukan merupakan hasil akhir, karena jumlah cerucuk yang diasumsikan untuk perhitungan berbeda dengan jumlah hasil perhitungan. Sehingga dilakukan trial and error sampai jumlah cerucuk asumsi sama dengan jumlah cerucuk hasil perhitungan. Tahap ini dinamakan konvergensi jumlah cerucuk. Seluruh tahapan dirangkum secara singkat pada Gambar 5.19.

Studi kasus yang digunakan adalah kelongsoran lereng pada Perumahan Pandan Harum Hill Samarinda, Kalimantan Timur. Terjadi kelongsoran di beberapa titik, namun pada studi kasus ini ditinjau hanya pada Kav. 131. Potongan melintang pada bagian Kav. 131 dapat dilihat pada Gambar 5.20. Dari geometri lereng tersebut, didapat bidang geser paling kritis pada SF 0.590 hasil dari analisis program bantu GeoStudio 2012. Bidang kelongsoran ditunjukkan oleh Gambar 5.21.

Pada SF 0.590 diperoleh momen pendorong yang terjadi sebesar 23.308 kN-m dan momen penahan sebesar 13.753 kN-m. Dengan SF rencana sebesar 1.1, diperoleh jumlah cerucuk dari berbagai metode perhitungan yang direkap dalam Tabel 5.13. Perhitungan setiap metode dapat dilihat pada Lampiran 4.



Gambar 5. 20 Potongan Melintang Kav. 131



Gambar 5. 21Bidang Kelongsoran pada Kav.131

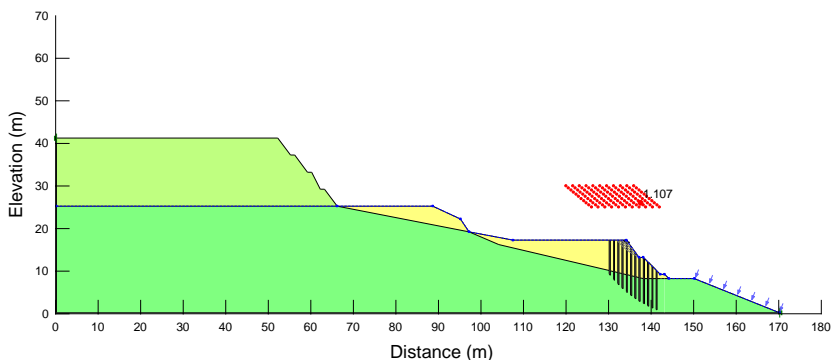
Tabel 5. 11 Rekapitulasi jumlah cerucuk dari berbagai metode perhitungan

Metode	SF	n hasil perhitungan	n pembulatan
Mochtar (2000)	1.1	41.04	42
Mochtar & Arya (2002)	1.1	26.59	27
Program Geostudio 2012	1.107	12	12
Rumus Cerucuk 2015 Revise 2016	1.1	11.61	12

Pada perhitungan jumlah tiang menggunakan Rumus Mochtar (2000) diperoleh jumlah cerucuk 42 buah/meter. Jauh lebih banyak dibandingkan dengan hasil Rumus Mochtar & Arya (2000) yakni 27 buah/meter dan Rumus Cerucuk 2015 revise 2017 sebanyak 12 buah/meter. Hal ini disebabkan karena pada

rumus Mochtar (2000) tidak memperhitungkan pengaruh jarak, panjang tancap, diameter, serta jumlah cerucuk sehingga membutuhkan cerucuk yang lebih banyak. Sedangkan pada Rumus Mochtar & Arya (2000), jumlah cerucuk mengalami penurunan karena perhitungan telah mempertimbangkan panjang tancap serta jenis tanah sehingga jumlah cerucuk bisa di optimasi. Selanjutnya untuk Rumus Cerucuk 2015 revise 2017, menghasilkan cerucuk yang lebih sedikit lagi, karena rumus ini telah mempertimbangkan pengaruh terhadap panjang tancap, spasi, diameter, serta efisiensi jumlah cerucuk. Sehingga jumlah cerucuk lebih bisa dioptimasi lagi.

Dari hasil Geostudio 2012 didapat jumlah cerucuk 12 buah/meter dengan SF yang lebih tinggi yakni 1.107 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.21. Maka Rumus cerucuk 2015 Revise 2015 bisa dikatakan memiliki hasil jumlah yang lebih optimum dan hasilnya mendekati hasil dari program bantu.



Gambar 5. 22 Hasil Program Geostudio 2012

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Uji lentur pada cerucuk menghasilkan nilai modulus elastisitas sebesar 29243.8 N/mm^2 dengan standar deviasi sebesar 11%. Uji sifat fisik dari tanah menunjukkan tanah yang berjenis lempung dengan nilai berat volume 1.345 t/m^3 dan kadar air 100%
2. Hasil pengujian geser cerucuk dengan variasi perlakuan spasi mengindikasikan bahwa semakin renggang pemasangan cerucuk, maka semakin kecil pula kemampuan cerucuk untuk menahan gaya geser. Persamaan yang diperoleh $X_s < 5 \quad Y_s = -0.220(X_s) - 0.101$, $X_s = 5 \quad Y_s = 1$, $X_s > 5 \quad Y_s = -0.027(X_s) + 1.138$.
3. Hasil pengujian geser cerucuk dengan variasi perlakuan diameter cerucuk mengindikasikan bahwa semakin besar rasio diameter dengan kekakuan bahan, maka semakin besar pula kemampuan cerucuk untuk menahan gaya geser. Persamaan yang diperoleh $X_d < 0.098 \quad Y_d = 1.337(X_d) + 0.869$, $X_d = 0.098 \quad Y_d = 1$, $X_d > 0.098 \quad Y_d = 46.616(X_d) - 3.581$.
4. Hasil pengujian geser cerucuk dengan variasi perlakuan rasio tancap cerucuk mengindikasikan bahwa semakin besar rasio tancap terhadap diameter, maka semakin besar pula kemampuan cerucuk untuk menahan gaya geser. Persamaan yang diperoleh $X_t < 28, \quad Y_t = 0.001(X_t^2) + 0.051(X_t) - 0.180$, dan untuk $X_t \geq 28, \quad Y_t = 2.745$
5. Hasil pengujian geser cerucuk dengan variasi perlakuan jumlah cerucuk cerucuk mengindikasikan bahwa semakin banyak cerucuk yang dipasang, maka semakin kuat perkuatan

pada lereng tersebut. Persamaan yang diperoleh $Y_n = 0.0055(X_n)^2 - 0.0892(X_n) + 1.1001$

6. Pola pemasangan yang lebih efisien adalah jumlah cerucuk arah sejajar gaya geser. Karena pada pola tersebut, tahanan tanah yang diberikan oleh cerucuk akan lebih maksimal dibandingkan dengan pola tegak lurus terhadap gaya geser.
7. Koefisien pengali yang dihasilkan adalah 2.095.

6.2 Saran

Setelah dilakukan analisis penelitian, penulis memberikan saran yaitu:

1. Perlu diadakan penelitian lanjut dengan jumlah benda uji yang lebih banyak pada setiap variasi perlakuan agar bisa lebih valid dalam perumusan persamaan statistik.
2. Perbandingan perumusan perlu diperluas dengan metode yang lebih beragam, untuk mengetahui tingkat ketidaksamaan hasil perhitungan.
3. Perlu dilakukan perbaikan dalam analisa perumusan menggunakan program bantu yang lebih beragam. Agar antara hasil penelitian di Laboratorium bisa mendekati hasil perumusan menggunakan program bantu.

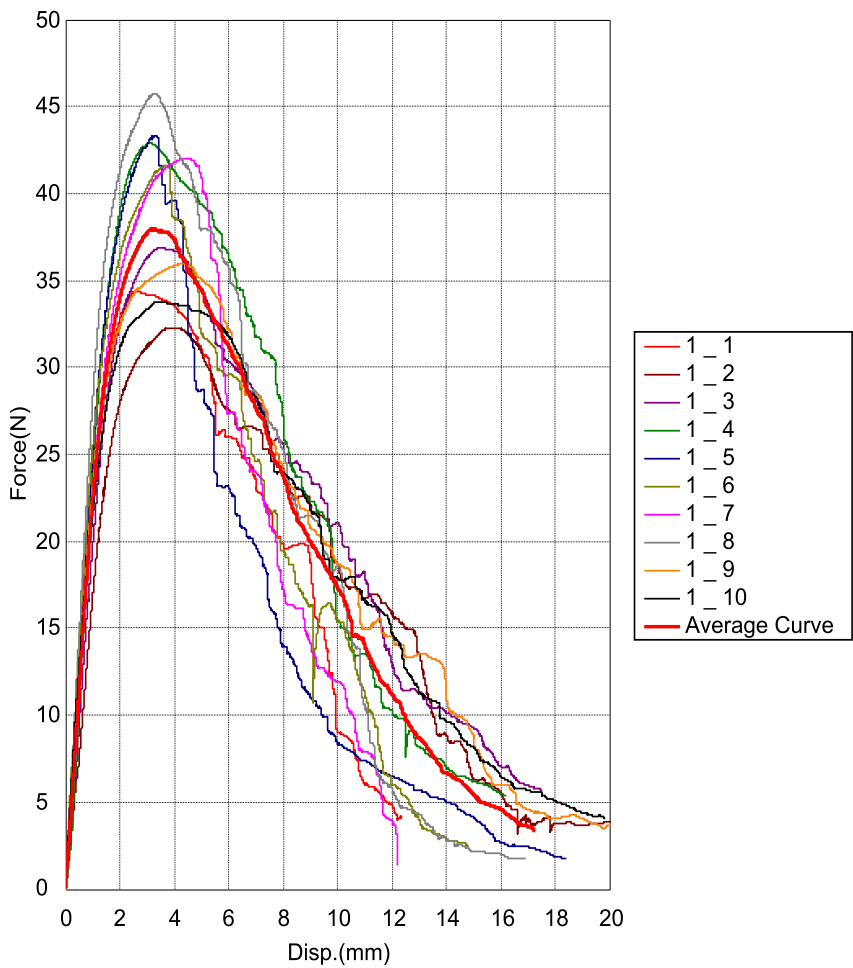
DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D-3080-04. **Uji Geser Langsung (Direct Shear)**. Diterjemahkan oleh Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Pendidikan Indonesia.
- Das, Braja M. 1988. **Mekanika Tanah 1: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik**. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Das, Braja M. 1988. **Mekanika Tanah 2: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik**. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Das, Braja M. Dan Sobhan, K. 2010. **Principle of Geotechnical Engineering Eight Edition, SI**. USA: Cengage Learning.
- Firat, Seyhan. 2009. **Review Stability Analysis of Pile-Slpoe System**. Turkey: Sakarya University
- Mochtar, Noor Endah. 2012. **Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah**. Surabaya: ITS Press
- Mochtar, I. B dan Arya I.W., 2002, **Pengaruh penambahan cerucuk terhadap peningkatan kuat geser tanah lunak pada permodelan di Laboratorium**, Tesis Bidang Geoteknik, Program Studi teknik Sipil, Program Pascasarjana ITS Surabaya
- NAVFAC DM-7, 1971, **Design Manual, Soil Mechanic, Foundation and Earth Strucutures**, Depth. Of the Naval Facilities Engineering Command, Virginia, USA
- Rusdiansyah. 2015. **Mekanisme Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak Akibat Adanya Cerucuk Berdasarkan Permodelan Empiris di Laboratorium**. Jurusan Teknik Sipil ITS

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

Lampiran 1

Grafik hasil *bending test*



Name Parameter Pass/Fail	Diameter	Lower Support	Max_Force Calc. at Entire Areas	Max_Stress Calc. at Entire Areas	Max_Displ. Calc. at Entire Areas
Unit	mm	mm	N	N/mm2	mm
Print			TRUE	TRUE	TRUE
1 _ 1	2.5	50	34.4118	280.412	2.65148
1 _ 2	2.5	50	32.2763	263.011	4.04983
1 _ 3	2.5	50	36.8571	300.339	3.54065
1 _ 4	2.5	50	42.8907	349.505	3.12483
1 _ 5	2.5	50	43.3572	353.306	3.31065
1 _ 6	2.5	50	41.5985	338.975	3.72398
1 _ 7	2.5	50	42.0181	342.394	4.49315
1 _ 8	2.5	50	45.7279	372.624	3.29815
1 _ 9	2.5	50	35.9424	292.885	4.25565
1 _ 10	2.5	50	33.795	275.387	3.46233

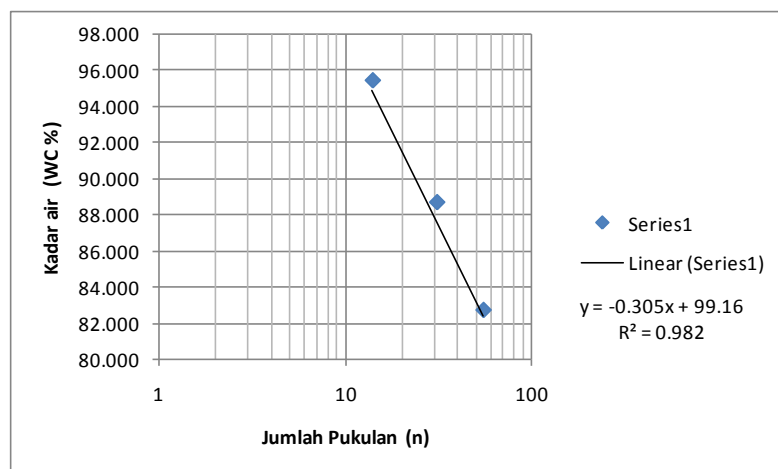
Lampiran 2

Data Record uji parameter tanah

Berat Volume Tanah			1	2	3	4	rata-rata
1	No. cawan	gr	172	104	185	4	
2	Berat cawan kosong	gr	48.531	52.730	39.335	42.107	
3	Berat cawan + tanah basah	gr	59.636	61.497	50.715	51.793	
4	Berat cawan + tanah kering	gr	54.055	57.094	44.988	46.895	
5	Berat cawan peluberan	gr	139.780	139.780	139.780	139.780	
6	Berat cawan peluberan + Hg luber	gr	254.800	226.476	250.579	241.411	
7	Berat Hg luber (B.J. Hg = 13.6 gr/cc)	gr	115.020	86.696	110.799	101.631	
8	Berat tanah basah	gr	11.105	8.767	11.380	9.686	
9	Volume tanah basah	cc	8.457	6.375	8.147	7.473	
10	Berat air	gr	5.581	4.403	5.727	4.898	
11	Berat tanah kering	gr	5.524	4.364	5.653	4.788	
12	Berat/volume tanah	Yt gr/cc	1.313	1.375	1.397	1.296	1.345
13	Berat/volume kering	Yd gr/cc	0.653	0.685	0.694	0.641	0.668
14	Kadar air	Wd %	101%	101%	101%	102%	101%
15	Derajat Kejenuhan	Sr gr	0.830	1.059	0.801	1.080	0.942
16	Kadar Pori	n %	75%	71%	76%	71%	73%
17	Angka Pori	e	3.074	2.405	3.193	2.392	2.766

Spesifik Gravity			1	2	3	4
1	No. Piknometer	gr	13	7	62	30
2	Berat Piknometer kosong	gr	114.319	89.957	125.846	78.332
3	Berat pikno + tanah kering	gr	119.847	94.407	131.536	83.059
4	Koreksi temperatur		28/28	26.5/28	26.5/28	27/28
5	Berat pikno + air suling	gr	363.077	338.976	374.554	327.270
6	Berat pikno + air + tanah kering	gr	366.529	341.554	378.301	329.794
7	Berat tanah kering		5.528	4.450	5.690	4.727
8	volume butir Vs	cc	2.076	1.872	1.943	2.203
9	volume pori Vv	cc	6.381	4.503	6.204	5.270
10	spesifik gravity Gs		2.663	2.377	2.928	2.146
11	spesifik gavity terkoreksi Gs		2.657	2.374	2.924	2.142
12	Gs avg		2.524			

UJI BATAS CAIR (LIQUID LIMIT)				
	unit	I	II	III
no cawan	gr	78	142	32
berat cawan	gr	41.555	39.147	40.513
berat cawan + tanah basah	gr	53.398	49.519	52.117
berat tanah basah	gr	11.843	10.372	11.604
berat cawan + tanah kering	gr	48.035	44.643	46.45
berat tanah kering	gr	6.48	5.496	5.937
berat air	gr	5.363	4.876	5.667
kadar air	%	82.762	88.719	95.452
jumlah pukulan	n	55	31	14
jumlah 25 pukulan	25			
wc =	91.535			



UJI BATAS PLASTIS (PLASTIC LIMIT TEST)		
No. Cawan	gr	28
Berat cawan	gr	39.138
Berat Cawan + Tanah Basah	gr	43.08
Berat Tanah Basah	gr	3.942
Berat Cawan + Tanah Kering	gr	41.844
Berat Tanah Kering	gr	2.706
Berat Air	gr	1.236
Batas Plastis, PL	%	45.67627

Lampiran 3

Data Record Direct Shear Test

Tanggal : 25 Oktober 2016

Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div

Nama Sampel : Tanpa Cerucuk Ia

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	A terkoreksi	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	4	9.5624	299.25	0.031955
2	50	0.5	5	11.953	298.5	0.040044
3	75	0.75	6	14.3436	297.75	0.048173
4	100	1	6.2	14.82172	297	0.049905
5	150	1.5	7	16.7342	295.5	0.05663
6	200	2	7.1	16.97326	294	0.057732
7	250	2.5	7.3	17.45138	292.5	0.059663
8	300	3	7.9	18.88574	291	0.064899
9	400	4	9	21.5154	288	0.074706
10	500	5	9	21.5154	285	0.075493
11	600	6	8.5	20.3201	282	0.072057
12	700	7	8.5	20.3201	279	0.072832

Tanggal : 25 Oktober 2016

Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div

Nama Sampel : Tanpa Cerucuk Ib

No.	Horizontal	Horizontal	Load Ring dial	Horizontal	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	4	9.5624	299.25	0.031955
2	50	0.5	6	14.3436	298.5	0.048052
3	75	0.75	7	16.7342	297.75	0.056202
4	100	1	7.9	18.88574	297	0.063588
5	150	1.5	9	21.5154	295.5	0.07281
6	200	2	9	21.5154	294	0.073182
7	250	2.5	9.1	21.75446	292.5	0.074374
8	300	3	9.2	21.99352	291	0.075579
9	400	4	9.2	21.99352	288	0.076366
10	500	5	9.2	21.99352	285	0.07717

Tanggal : 25 Oktober 2016
 Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div
 Nama Sampel : Tanpa Cerucuk Ic

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	6.5	15.5389	299.25	0.051926
2	50	0.5	7	16.7342	298.5	0.056061
3	75	0.75	8	19.1248	297.75	0.064231
4	100	1	8.7	20.79822	297	0.070028
5	150	1.5	9.2	21.99352	295.5	0.074428
6	200	2	9.3	22.23258	294	0.075621
7	250	2.5	9.3	22.23258	292.5	0.076009
8	300	3	9.2	21.99352	291	0.075579
9	400	4	8	19.1248	288	0.066406

Tanggal : 1 November 2016
 Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div
 Nama Sampel : Tanpa Cerucuk II

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3	7.1718	299.25	0.023966
2	50	0.5	3.5	8.3671	298.5	0.02803
3	75	0.75	4	9.5624	297.75	0.032116
4	100	1	4.3	10.27958	297	0.034611
5	150	1.5	4.7	11.23582	295.5	0.038023
6	200	2	5	11.953	294	0.040656
7	250	2.5	5.5	13.1483	292.5	0.044951
8	300	3	6	14.3436	291	0.049291
9	400	4	6.5	15.5389	288	0.053955
10	500	5	6.5	15.5389	285	0.054522
11	600	6	6.5	15.5389	282	0.055102

Tanggal : 14 November 2016

Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div

Nama Sampel : Tanpa Cerucuk III

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3	7.1718	299.25	0.023966
2	50	0.5	4	9.5624	298.5	0.032035
3	75	0.75	5	11.953	297.75	0.040144
4	100	1	5.3	12.67018	297	0.042661
5	150	1.5	5.7	13.62642	295.5	0.046113
6	200	2	5.9	14.10454	294	0.047975
7	250	2.5	6	14.3436	292.5	0.049038
8	300	3	6.5	15.5389	291	0.053398
9	400	4	6.9	16.49514	288	0.057275
10	500	5	6.5	15.5389	285	0.054522
11	600	6	6	14.3436	282	0.050864

Tanggal : 23 November 2016

Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div

Nama Sampel : Tanpa Cerucuk IV

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	2.5	5.9765	299.25	0.019972
2	50	0.5	4	9.5624	298.5	0.032035
3	75	0.75	5	11.953	297.75	0.040144
4	100	1	5.5	13.1483	297	0.04427
5	150	1.5	5.7	13.62642	295.5	0.046113
6	200	2	6	14.3436	294	0.048788
7	250	2.5	6.2	14.82172	292.5	0.050673
8	300	3	6.9	16.49514	291	0.056684
9	400	4	6.9	16.49514	288	0.057275
10	500	5	6.5	15.5389	285	0.054522
11	600	6	6	14.3436	282	0.050864

Tanggal : 25 Oktober 2016
 Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div
 Nama Sampel : 1x3.2,5.10D.22 (Spasi 10D I)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3.5	8.3671	299.25	0.02796
2	50	0.5	4.5	10.7577	298.5	0.036039
3	75	0.75	6	14.3436	297.75	0.048173
4	100	1	6.5	15.5389	297	0.05232
5	150	1.5	7.5	17.9295	295.5	0.060675
6	200	2	8.5	20.3201	294	0.069116
7	250	2.5	8.9	21.27634	292.5	0.07274
8	300	3	9	21.5154	291	0.073936
9	400	4	9.2	21.99352	288	0.076366
10	500	5	9.5	22.7107	285	0.079687
11	600	6	8.9	21.27634	282	0.075448
12	700	7	8	19.1248	279	0.068548

Tanggal : 1 November 2016
 Nama Sampel : 1x3.2,5.10D.22 (Spasi 10D II)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3	7.1718	299.25	0.023966
2	50	0.5	4	9.5624	298.5	0.032035
3	75	0.75	5	11.953	297.75	0.040144
4	100	1	5.2	12.43112	297	0.041856
5	150	1.5	5.5	13.1483	295.5	0.044495
6	200	2	6	14.3436	294	0.048788
7	250	2.5	6.2	14.82172	292.5	0.050673
8	300	3	6.5	15.5389	291	0.053398
9	400	4	6.5	15.5389	288	0.053955
10	500	5	6.2	14.82172	285	0.052006
11	600	6	6	14.3436	282	0.050864

Tanggal : 1 November 2016

Nama Sampel : 1x3.2,5.10D.22 (Spasi 10D III)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3.5	8.3671	299.25	0.02796
2	50	0.5	5	11.953	298.5	0.040044
3	75	0.75	5.5	13.1483	297.75	0.044159
4	100	1	5.7	13.62642	297	0.04588
5	150	1.5	6.3	15.06078	295.5	0.050967
6	200	2	7	16.7342	294	0.056919
7	250	2.5	7.2	17.21232	292.5	0.058846
8	300	3	7.7	18.40762	291	0.063256
9	400	4	8.1	19.36386	288	0.067236
10	500	5	9	21.5154	285	0.075493
11	600	6	9	21.5154	282	0.076296
12	700	7	8.5	20.3201	279	0.072832

Tanggal : 1 November 2016

Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div

Nama Sampel : 1x3.2.18D.27 (D2mm I)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3.5	8.3671	299.25	0.02796
2	50	0.5	5	11.953	298.5	0.040044
3	75	0.75	6	14.3436	297.75	0.048173
4	100	1	6.5	15.5389	297	0.05232
5	150	1.5	6.7	16.01702	295.5	0.054203
6	200	2	7.2	17.21232	294	0.058545
7	250	2.5	8	19.1248	292.5	0.065384
8	300	3	8.2	19.60292	291	0.067364
9	400	4	9	21.5154	288	0.074706
10	500	5	8.7	20.79822	285	0.072976
11	600	6	8.5	20.3201	282	0.072057

Tanggal : 1 November 2016
 Nama Sampel : 1x3.2.18D.27 (D2mm II)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	4	9.5624	299.25	0.031955
2	50	0.5	5.2	12.43112	298.5	0.041645
3	75	0.75	6	14.3436	297.75	0.048173
4	100	1	6.2	14.82172	297	0.049905
5	150	1.5	7	16.7342	295.5	0.05663
6	200	2	7.8	18.64668	294	0.063424
7	250	2.5	8	19.1248	292.5	0.065384
8	300	3	8.3	19.84198	291	0.068185
9	400	4	9	21.5154	288	0.074706
10	500	5	9	21.5154	285	0.075493
11	600	6	8.7	20.79822	282	0.073753

Tanggal : 1 November 2016
 Nama Sampel : 1x3.2.18D.27 (D2mm III)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3	7.1718	299.25	0.023966
2	50	0.5	4.5	10.7577	298.5	0.036039
3	75	0.75	5	11.953	297.75	0.040144
4	100	1	5.5	13.1483	297	0.04427
5	150	1.5	6	14.3436	295.5	0.04854
6	200	2	7	16.7342	294	0.056919
7	250	2.5	7.3	17.45138	292.5	0.059663
8	300	3	7.7	18.40762	291	0.063256
9	400	4	8.2	19.60292	288	0.068066
10	500	5	9	21.5154	285	0.075493
11	600	6	8.7	20.79822	282	0.073753
12	700	7	8	19.1248	279	0.068548

Tanggal : 14 November 2016
 Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div
 Nama Sampel : 1x3.2,5.15D.22 (D2,5mm)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3	7.1718	299.25	0.023966
2	50	0.5	4.5	10.7577	298.5	0.036039
3	75	0.75	5.5	13.1483	297.75	0.044159
4	100	1	6	14.3436	297	0.048295
5	150	1.5	6.2	14.82172	295.5	0.050158
6	200	2	7	16.7342	294	0.056919
7	250	2.5	7.5	17.9295	292.5	0.061297
8	300	3	7.5	17.9295	291	0.061613
9	400	4	8	19.1248	288	0.066406
10	500	5	8.2	19.60292	285	0.068782
11	600	6	9	21.5154	282	0.076296
12	700	7	8.5	20.3201	279	0.072832
13	800	8	8.2	19.60292	276	0.071025

Tanggal : 14 November 2016
 Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div
 Nama Sampel : 1x3.2,5.10D.24 (L/D = 24 I)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3.5	8.3671	299.25	0.02796
2	50	0.5	5	11.953	298.5	0.040044
3	75	0.75	5.7	13.62642	297.75	0.045765
4	100	1	6.2	14.82172	297	0.049905
5	150	1.5	7	16.7342	295.5	0.05663
6	200	2	8	19.1248	294	0.06505
7	250	2.5	9	21.5154	292.5	0.073557
8	300	3	9.5	22.7107	291	0.078044
9	400	4	9.7	23.18882	288	0.080517
10	500	5	10.2	24.38412	285	0.085558
11	600	6	9.5	22.7107	282	0.080534
12	700	7	9	21.5154	279	0.077116

Tanggal : 14 November 2016

Nama Sampel : 1x3.2,5.10D.24 (L/D = 24 II)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	1.5	3.5859	299.25	0.011983
2	50	0.5	2.5	5.9765	298.5	0.020022
3	75	0.75	3	7.1718	297.75	0.024087
4	100	1	3	7.1718	297	0.024147
5	150	1.5	3.5	8.3671	295.5	0.028315
6	200	2	4	9.5624	294	0.032525
7	250	2.5	4.5	10.7577	292.5	0.036778
8	300	3	4.7	11.23582	291	0.038611
9	400	4	5	11.953	288	0.041503
10	500	5	6	14.3436	285	0.050328
11	600	6	6.2	14.82172	282	0.052559
12	700	7	6	14.3436	279	0.051411
13	800	8	6	14.3436	276	0.05197

Tanggal : 14 November 2016

Nama Sampel : 1x3.2,5.10D.24 (L/D = 24 III)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3	7.1718	299.25	0.023966
2	50	0.5	4	9.5624	298.5	0.032035
3	75	0.75	5.5	13.1483	297.75	0.044159
4	100	1	6	14.3436	297	0.048295
5	150	1.5	6.3	15.06078	295.5	0.050967
6	200	2	6.7	16.01702	294	0.05448
7	250	2.5	8.5	20.3201	292.5	0.06947
8	300	3	9	21.5154	291	0.073936
9	400	4	9.2	21.99352	288	0.076366
10	500	5	9.2	21.99352	285	0.07717
11	600	6	9.2	21.99352	282	0.077991
12	700	7	8.7	20.79822	279	0.074546

Tanggal : 14 November 2016

Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div

Nama Sampel : 1x3.2,5.10D.28 (L/D = 28)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	4	9.5624	299.25	0.031955
2	50	0.5	5.5	13.1483	298.5	0.044048
3	75	0.75	7	16.7342	297.75	0.056202
4	100	1	8	19.1248	297	0.064393
5	150	1.5	9.5	22.7107	295.5	0.076855
6	200	2	10	23.906	294	0.081313
7	250	2.5	10.2	24.38412	292.5	0.083365
8	300	3	10.5	25.1013	291	0.086259
9	400	4	11	26.2966	288	0.091308
10	500	5	10.7	25.57942	285	0.089752
11	600	6	10.2	24.38412	282	0.086469
12	700	7	10	23.906	279	0.085685

Tanggal : 23 November 2016

Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div

Nama Sampel : 1x5.2,5.10D.22 (Jumlah 1x5 l)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3.5	8.3671	299.25	0.02796
2	50	0.5	5.5	13.1483	298.5	0.044048
3	75	0.75	6.5	15.5389	297.75	0.052188
4	100	1	7	16.7342	297	0.056344
5	150	1.5	7.5	17.9295	295.5	0.060675
6	200	2	7.5	17.9295	294	0.060985
7	250	2.5	9	21.5154	292.5	0.073557
8	300	3	10	23.906	291	0.082151
9	400	4	11	26.2966	288	0.091308
10	500	5	11.2	26.77472	285	0.093946
11	600	6	11	26.2966	282	0.09325
12	700	7	10.5	25.1013	279	0.089969

Tanggal : 23 November 2016

Nama Sampel : 1x5.2,5.10D.22 (Jumlah 1x5 II)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	2.5	5.9765	299.25	0.019972
2	50	0.5	3.5	8.3671	298.5	0.02803
3	75	0.75	4.5	10.7577	297.75	0.03613
4	100	1	5	11.953	297	0.040246
5	150	1.5	5.5	13.1483	295.5	0.044495
6	200	2	5.5	13.1483	294	0.044722
7	250	2.5	5.5	13.1483	292.5	0.044951
8	300	3	5.5	13.1483	291	0.045183
9	400	4	6	14.3436	288	0.049804
10	500	5	6.5	15.5389	285	0.054522
11	600	6	6.5	15.5389	282	0.055102
12	700	7	7	16.7342	279	0.059979
13	800	8	8	19.1248	276	0.069293
14	900	9	7.5	17.9295	273	0.065676

Tanggal : 23 November 2016

Nama Sampel : 1x5.2,5.10D.22 (Jumlah 1x5 III)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	4.5	10.7577	299.25	0.035949
2	50	0.5	6.5	15.5389	298.5	0.052057
3	75	0.75	7.5	17.9295	297.75	0.060217
4	100	1	8.5	20.3201	297	0.068418
5	150	1.5	9	21.5154	295.5	0.07281
6	200	2	9.5	22.7107	294	0.077247
7	250	2.5	10	23.906	292.5	0.08173
8	300	3	10.2	24.38412	291	0.083794
9	400	4	10.5	25.1013	288	0.087157
10	500	5	10.9	26.05754	285	0.09143
11	600	6	10.5	25.1013	282	0.089012

Tanggal : 23 November 2016

Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div

Nama Sampel : 1x2.2,5.10D.22 (Jumlah 1x2)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	3	7.1718	299.25	0.023966
2	50	0.5	4	9.5624	298.5	0.032035
3	75	0.75	5	11.953	297.75	0.040144
4	100	1	6	14.3436	297	0.048295
5	150	1.5	6.5	15.5389	295.5	0.052585
6	200	2	7	16.7342	294	0.056919
7	250	2.5	7.5	17.9295	292.5	0.061297
8	300	3	8	19.1248	291	0.065721
9	400	4	8.3	19.84198	288	0.068896
10	500	5	8.7	20.79822	285	0.072976
11	600	6	9	21.5154	282	0.076296
12	700	7	9	21.5154	279	0.077116

Tanggal : 23 November 2016

Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div

Nama Sampel : 2x3.2,5.10D.22 (Pola 2x3)

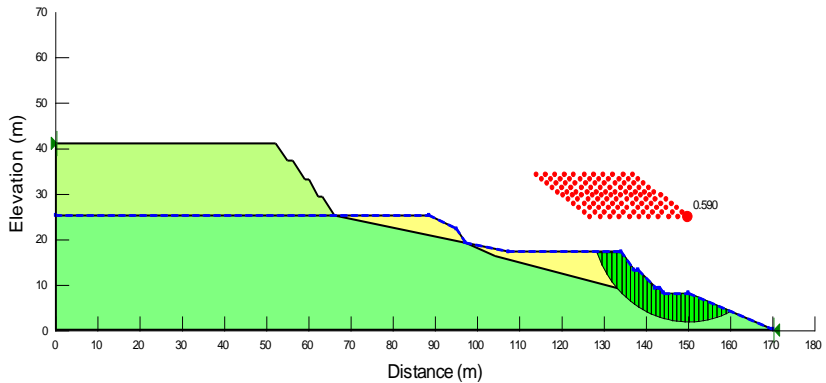
No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	4	9.5624	299.25	0.031955
2	50	0.5	6	14.3436	298.5	0.048052
3	75	0.75	7	16.7342	297.75	0.056202
4	100	1	7.5	17.9295	297	0.060369
5	150	1.5	8	19.1248	295.5	0.06472
6	200	2	8.5	20.3201	294	0.069116
7	250	2.5	9	21.5154	292.5	0.073557
8	300	3	9	21.5154	291	0.073936
9	400	4	9	21.5154	288	0.074706
10	500	5	9	21.5154	285	0.075493
11	600	6	9.1	21.75446	282	0.077143
12	700	7	9	21.5154	279	0.077116
13	800	8	8.7	20.79822	276	0.075356

Tanggal : 23 November 2016
 Load Ring Calibration : 2.3906 kgf/div
 Nama Sampel : 3x2.2,5.10D.22 (Pola 3x2)

No.	Horizontal Dial	Horizontal displacement	Load Ring dial reading	Horizontal Shear force	Ao	τ (kg/cm ²)
1	25	0.25	2.5	5.9765	299.25	0.019972
2	50	0.5	3	7.1718	298.5	0.024026
3	75	0.75	4.5	10.7577	297.75	0.03613
4	100	1	5	11.953	297	0.040246
5	150	1.5	5.5	13.1483	295.5	0.044495
6	200	2	6	14.3436	294	0.048788
7	250	2.5	6.2	14.82172	292.5	0.050673
8	300	3	6.5	15.5389	291	0.053398
9	400	4	6.9	16.49514	288	0.057275
10	500	5	7	16.7342	285	0.058716
11	600	6	7.1	16.97326	282	0.060189
12	700	7	7.1	16.97326	279	0.060836
13	800	8	7.3	17.45138	276	0.06323
14	900	9	7.5	17.9295	273	0.065676
15	1000	10	7.7	18.40762	270	0.068176
16	1100	11	7.7	18.40762	267	0.068942
17	1200	12	7.5	17.9295	264	0.067915
18	1300	13	7.5	17.9295	261	0.068695

Lampiran 4

Perhitungan Metode Arya & Mochtar (2002)



Data perkuatan dengan tiang pancang

D (cm)	Ew(kg/cm2)	I (cm4)	f (kg/cm3)	T (cm)
30	235000	34616.6784	0.096	153.32621
30	257429.602	34616.6784	0.096	156.14732
30	278055.7498	34616.6784	0.096	158.57299
30	297254.1001	34616.6784	0.096	160.70464
30	315285.5848	34616.6784	0.096	162.60865
30	332340.1872	34616.6784	0.096	164.33096
30	348561.3289	34616.6784	0.096	165.90469
30	364060.4345	34616.6784	0.096	167.35455
35	235000	62178.7179	0.096	172.38032
35	257429.602	62178.7179	0.096	175.55201
35	278055.7498	62178.7179	0.096	178.27912
35	297254.1001	62178.7179	0.096	180.67567
35	315285.5848	62178.7179	0.096	182.81631
35	332340.1872	62178.7179	0.096	184.75265
35	348561.3289	62178.7179	0.096	186.52195
35	364060.4345	62178.7179	0.096	188.15198

Dari spec Tiang pancang WIKA nilai $f'c = 60$ MPa sehingga data-data yang digunakan untuk desain adalah data pada kolom dan baris yang berwarna kuning
Diameter 30 cm

$$\begin{array}{lcl}
 L = & 3 \text{ m} & \\
 z = & 0 \text{ m} & \\
 L/T = & 1.886792453 & \\
 F_m = & 1 &
 \end{array}
 \quad
 Fk = 2,643 \cdot \left[\frac{0.89 + 0.12 \cdot \frac{L}{D}}{2,69} \right] \left[\frac{0.855 \cdot C_u^{-0.392}}{2,865} \right]$$

$$P = \frac{M_{\max} 1Cerucuk}{Fm.T} xfk \quad n = \frac{(SFren - SF \min). MD}{P \max 1cerucuk .R}$$

MINIPILE UKURAN 25 X 25 CM

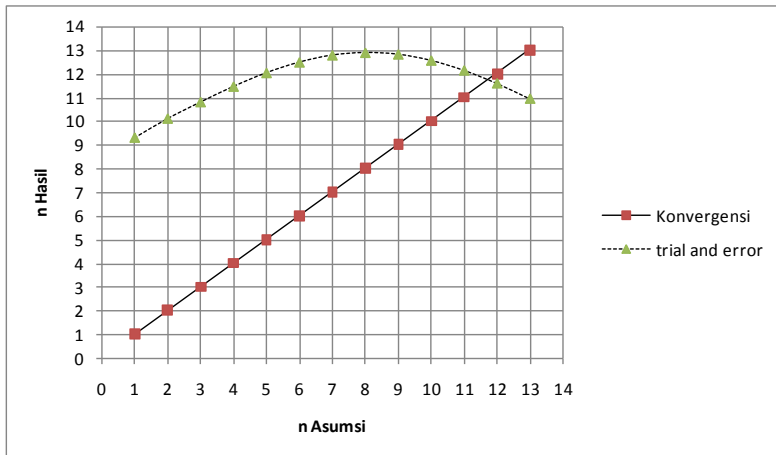
class	Bending moment capacity (tf.m) Crack	Bending moment capacity (tf.cm) Crack	T (cm)	Fm	Fk	P (ton)
	2	200	159.00	1	1.543667	1.941719

Momen resisten (KN-m')	Momen dorong (KN-m')	SF rencana	M.Resisten rencana (KN-m)	ΔMR(KN-m)	Titik pusat (m)	R (m)
13753	23308	1.1	25638.8	11885.8	150, 25	23.02173

SF	ΔMR(KN-m)	ΔMR(t-m)	R (m)	n (jml/meter)
0.59	11885.80	1188.58	23.021729	26.59

Perhitungan Rumus Cerucuk 2015 Revise 2016

$Xt < 28, Yt = 0.001(Xt^2) + 0.051(Xt) - 0.180$	L	3	m	
$Xt \geq 28, Yt = 2.745$	D	0.25	m	
	L/D	12		
	Yt	0.576		
$Xs < 5, Ys = 0.220(Xs) - 0.101$	S	1.25	m	
$Xs = 5, Ys = 1$	D	0.25	m	
$Xs > 5, Ys = -0.027(Xs) + 1.138$	S/D	5		
	Ys	1		
$Yn = 0.0055(Xn^2) - 0.0892(Xn) + 1.1001$	n	12		
	Yn	0.822		
$Xd < 0.098, Yd = 1.337(Xd) + 0.869$	D	0.25	m	
$Xd = 0.098, Yd = 1$	T	1.59	m	
$Xd > 0.098, Yd = 46.61(Xd) - 3.581$	D/T	0.1572327		
	Yd	3.7485597		
	Fkg	3.5363922		
	SF	1.05		
	P	4.4482921	ton	
SF	$\Delta MR(KN-m)$	$\Delta MR(t-m)$	R (m)	n (jml/meter)
0.59	11885.80	1188.58	23.021729	11.61



Perhitungan Mochtar (2000)

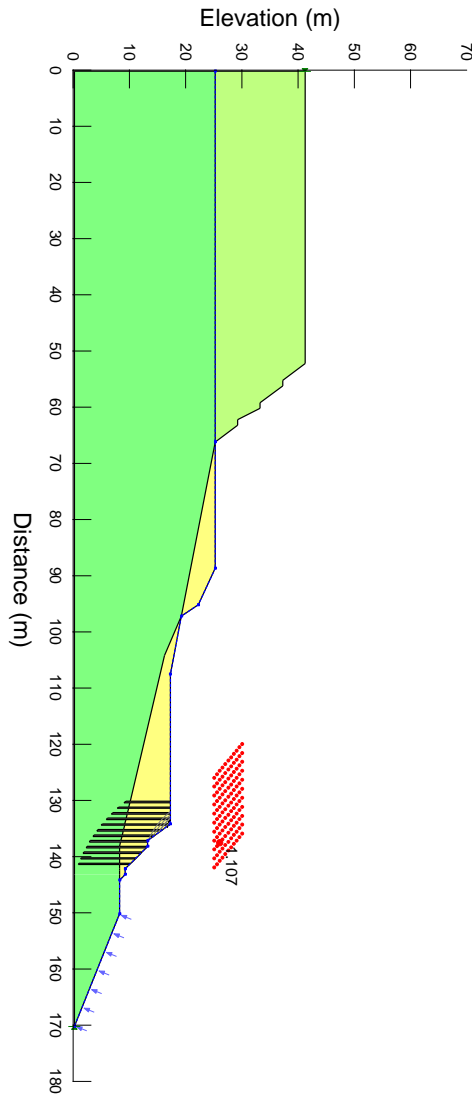
MINIPILE UKURAN 25 X 25 CM

class	Bending moment capacity (tf.m) Crack	Bending moment capacity (tf.cm) Crack	T (cm)	Fm	P (ton)
	2	200	159.00	1	1.257862

Momen resisten (KN-m')	Momen dorong (KN-m')	SF rencana	M.Resisten rencana (KN-m)	$\Delta MR(KN-m)$	R (m)
13753	23308	1.1	25638.8	11885.8	23.02173

SF	$\Delta MR(KN-m)$	$\Delta MR(t-m)$	R (m)	n (jml/meter)
0.59	11885.80	1188.58	23.021729	41.04

Perhitungan Geostudio 2007



Materials

4.1 Timbunan

Model: [Mohr-Coulomb](#)
Unit Weight: [18 kN/m³](#)
Cohesion': [0 kPa](#)
Phi': [30 °](#)
Phi-B: [0 °](#)
Pore Water Pressure
Piezometric Line: [1](#)

4.2 Tanah 4

Model: [Mohr-Coulomb](#)
Unit Weight: [16 kN/m³](#)
Cohesion': [0 kPa](#)
Phi': [25 °](#)
Phi-B: [0 °](#)
Pore Water Pressure
Piezometric Line: [1](#)

4.3 Tanah 1

Model: [Mohr-Coulomb](#)
Unit Weight: [16 kN/m³](#)
Cohesion': [0 kPa](#)
Phi': [30 °](#)
Phi-B: [0 °](#)
Pore Water Pressure
Piezometric Line: [1](#)

4.4 Beton

Model: [Mohr-Coulomb](#)
Unit Weight: [24 kN/m³](#)
Cohesion': [0 kPa](#)
Phi': [50 °](#)
Phi-B: [0 °](#)
Pore Water Pressure
Piezometric Line: [1](#)

Slip Surface Grid

Upper Left: (120, 30) m
 Lower Left: (136, 30) m
 Lower Right: (142, 25) m
 Grid Horizontal Increment: 10
 Grid Vertical Increment: 10
 Left Projection Angle: 0 °
 Right Projection Angle: 0 °

Slip Surface Radius

Upper Left Coordinate: (136, 18) m
 Upper Right Coordinate: (144, 2) m
 Lower Left Coordinate: (124, 18) m
 Lower Right Coordinate: (122, 2) m
 Number of Increments: 20
 Left Projection: No
 Left Projection Angle: 135 °
 Right Projection: No
 Right Projection Angle: 45 °

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0.22812, 41.21968) m
 Right Coordinate: (170.22812, 0.21968) m

Current Slip Surface

Slip Surface: 643
 F of S: 1.107
 Volume: 0.20268508 m³
 Weight: 4.0180275 kN
 Resisting Moment: 15.609286 kN-m
 Activating Moment: 14.106296 kN-m
 F of S Rank: 174
 Exit: (134.57403, 16.758464) m
 Entry: (133.42047, 17.21968) m

Radius: 9.7243232 m
Center: (137.6, 26) m

4.5Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	133.43437	17.213091	0.064616223	0.14097064	0.090995648	0
Slice 2	133.46702	17.197699	0.21557095	0.36313232	0.085194597	0
Slice 3	133.50452	17.180188	0.38729472	0.65345925	0.15367016	0
Slice 4	133.54202	17.162872	0.55711765	0.94149624	0.22192108	0
Slice 5	133.57952	17.145748	0.72505089	1.2272341	0.28993562	0
Slice 6	133.61702	17.128816	0.89110538	1.5106637	0.35770218	0
Slice 7	133.65452	17.112074	1.0552919	1.791776	0.42520931	0
Slice 8	133.69202	17.095522	1.2176209	2.0705619	0.49244571	0
Slice 9	133.72952	17.079158	1.3781028	2.3470124	0.55940022	0
Slice 10	133.76702	17.062981	1.5367477	2.6211185	0.62606182	0
Slice 11	133.80452	17.046991	1.6935655	2.8928715	0.69241964	0
Slice 12	133.84202	17.031185	1.8485661	3.1622625	0.75846293	0
Slice 13	133.87952	17.015565	2.0017591	3.4292826	0.82418111	0
Slice 14	133.91702	17.000127	2.1531538	3.6939233	0.8895637	0
Slice 15	133.95452	16.984872	2.3027594	3.9561758	0.95460038	0
Slice 16	133.99202	16.969799	2.4505852	4.2160316	1.019281	0
Slice 17	134.02952	16.954906	2.5966399	4.4734821	1.0835954	0
Slice 18	134.06702	16.940193	2.7409322	4.728519	1.1475337	0
Slice 19	134.10452	16.925658	2.8834709	4.9811337	1.2110862	0
Slice 20	134.14202	16.911302	3.0242642	5.2313181	1.2742432	0
Slice 21	134.17952	16.897123	3.1633204	5.4790637	1.336995	0
Slice 22	134.21319	16.884532	3.2867981	7.4665587	4.9812447	0
Slice 23	134.24647	16.872246	3.1649816	7.2058965	4.8157749	0
Slice 24	134.28316	16.858849	2.8117638	6.4232725	4.3040284	0

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jombang, 17 Desember 1995, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di RA Muslimat Jatigedong Jombang, MI Nizhomiyah Jatigedong Jombang, SMPN 1 Ploso Jombang, SMAN 2 Jombang. Setelah lulus dari SMAN tahun 2013, Penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP. 3113100040.

Di Jurusan Teknik Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Geoteknik. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan maupun Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HMS), sempat aktif mengikuti beberapa kegiatan perlombaan ditingkat Provinsi maupun Nasional, dan aktif sebagai Grader mata kuliah Mekanika Bahan.